



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



ETS INGENIERÍA DE CAMINOS,  
CANALES Y PUERTOS

# TRABAJO DE FIN DE MÁSTER

---

Aplicación de la metodología Building Information  
Modeling (BIM) para el rediseño de la intersección  
localizada en el PK 3+477 de la carretera TF-652 en la  
provincia de Santa Cruz de Tenerife

---

*Presentado por*

Santos Casanova, Joel

---

*Para la obtención del*


Máster Universitario en Planificación y Gestión en Ingeniería  
Civil

*Curso:* 2020/2021

*Fecha:* Septiembre 2021

*Tutor:* Camacho Torregrosa, Francisco Javier

*Cotutor:* Llopis Castelló, David



# Índice del contenido

Resumen .....	6
Resumen ejecutivo .....	7
1. Introducción .....	10
2. Planteamiento.....	11
2.1. Justificación .....	11
2.2. Alcance.....	11
2.3. Objetivos .....	11
3. Marco teórico .....	12
3.1. Building Information Modeling (BIM) .....	12
3.1.1. Introducción.....	12
3.1.2. ¿Qué es BIM? .....	12
3.1.3. Proyecto BIM.....	16
3.1.4. Dimensiones BIM .....	23
3.1.5. Niveles de desarrollo .....	25
3.1.6. Estandarización .....	28
3.1.7. Situación actual del BIM .....	31
3.1.8. BIM en carreteras .....	47
3.2. Estudio del tráfico .....	51
3.2.1. Intensidad.....	51
3.2.2. Prognosis del tráfico .....	52
3.2.3. Matriz origen-destino .....	54
3.2.4. Capacidad y Niveles de Servicio.....	56
4. Caso de estudio.....	68
4.1. Situación.....	68
4.2. Visita de campo .....	69
4.2.1. Reportaje fotográfico .....	69
4.2.2. Grabaciones .....	82
4.3. Estudio del tráfico .....	88
4.3.1. Datos de partida .....	88
4.3.2. Prognosis del tráfico .....	92
4.3.3. Matriz origen-destino .....	95
4.3.4. Capacidad y Niveles de Servicio.....	99
4.4. Diseño geométrico.....	104
4.4.1. Descripción de los ejes.....	105
4.4.2. Vehículo de proyecto .....	105

4.4.3.	Trazado en planta.....	106
4.4.4.	Alzado .....	108
4.4.5.	Sección transversal .....	108
4.4.6.	Conexiones con la calzada anular .....	108
4.4.7.	Trayectorias.....	108
4.4.8.	Isletas separadoras .....	109
4.5.	Firmes .....	110
4.5.1.	Categoría del tráfico pesado.....	111
4.5.2.	Categoría de la explanada.....	112
4.5.3.	Alternativas para la sección de firme .....	112
4.5.4.	Definición de los materiales .....	113
4.5.5.	Definición de las secciones.....	118
4.5.6.	Selección del firme .....	118
4.5.7.	Arcenes .....	119
4.6.	Señalización .....	119
4.6.1.	Señalización horizontal.....	119
4.6.2.	Señalización vertical .....	121
4.7.	Planificación .....	124
4.7.1.	Fases de ejecución.....	124
4.7.2.	Programa de trabajos .....	125
4.8.	Presupuesto .....	126
4.9.	Modelado.....	126
4.9.1.	Istram .....	126
4.9.2.	Navisworks .....	127
5.	Conclusiones .....	129
6.	Bibliografía.....	131
Anexo 1:	Listados del estudio del tráfico.....	134
Anexo 2:	Listados del diseño geométrico.....	136
Anexo 3:	Planos.....	142
Anexo 4:	Planificación.....	163
Anexo 5:	Presupuesto.....	165
Anexo 6:	Objetivos de Desarrollo Sostenible .....	171

# Índice de figuras

Figura 1 - BIM en el mundo.....	13
Figura 2 - LODs (1).....	25
Figura 3 - LODs (2) ).....	25
Figura 4 - Evolución de la inversión y el nº de licitaciones por niveles de la administración .....	40
Figura 5 - Distribución de la inversión anual por niveles .....	40
Figura 6 - Licitaciones de 2020 agrupadas por comunidades .....	41
Figura 7 - Evolución de la obligatoriedad de BIM .....	42
Figura 8 - Evolución de la valoración de BIM .....	42
Figura 9 - Evolución de los requisitos BIM exigidos .....	43
Figura 10 - Evolución de los usos BIM.....	43
Figura 11 - Evolución de los entregables BIM requeridos .....	44
Figura 12 - Distribución del nº de licitaciones del trimestre por niveles de administración en edificación Fuente: Observatorio de Licitaciones – Informe 14 es.BIM.....	44
Figura 13 - Distribución del nº de licitaciones del trimestre por niveles de administración en infraestructuras .....	45
Figura 14 - Evolución de los requisitos BIM en edificación.....	46
Figura 15 - Evolución de los requisitos BIM en infraestructuras .....	46
Figura 16 - Movimientos de la intersección .....	58
Figura 17 - Movimientos de Rango 1 .....	59
Figura 18 - Movimientos de Rango 1 y 2.....	59
Figura 19 - Movimientos de Rango 1, 2 y 3.....	60
Figura 20 - Intersección en T .....	68
Figura 21 - Reportaje fotográfico .....	69
Figura 22 - Fotografía 1 .....	70
Figura 23 - Fotografía 2 .....	70
Figura 24 - Fotografía 3 .....	71
Figura 25 - Fotografía 4 .....	71
Figura 26 - Fotografía 5 .....	72
Figura 27 - Fotografía 6 .....	72
Figura 28 - Fotografía 7 .....	73
Figura 29 - Fotografía 8 .....	73
Figura 30 - Fotografía 9 .....	74
Figura 31 - Fotografía 10 .....	74
Figura 32 - Fotografía 11 .....	75
Figura 33 - Fotografía 12 .....	75
Figura 34 - Fotografía 13 .....	76
Figura 35 - Fotografía 14 .....	76
Figura 36 - Fotografía 15 .....	77
Figura 37 - Fotografía 16 .....	77
Figura 38 - Fotografía 17 .....	78
Figura 39 - Fotografía 18 .....	78
Figura 40 - Fotografía 19 .....	79
Figura 41 - Fotografía 20 .....	79
Figura 42 - Fotografía 21 .....	80
Figura 43 - Fotografía 22 .....	80
Figura 44 - Fotografía 23 .....	81



Figura 45 - Fotografía 24 .....	81
Figura 46 - Movimientos en la intersección .....	82
Figura 47 - Captura video Movimiento 2 .....	83
Figura 48 - Captura video Movimiento 3 .....	83
Figura 49 - Captura video Movimiento 4 .....	84
Figura 50 - Captura video Movimiento 5 .....	84
Figura 51 - Captura video Movimiento 7 .....	85
Figura 52 - Captura video Movimiento 9 .....	85
Figura 53 - Captura Grabación 1 .....	86
Figura 54 - Captura Grabación 2 .....	87
Figura 55 - Captura Grabación 3 .....	87
Figura 56 – Localización de las estaciones de cobertura .....	89
Figura 57 – NS Movimiento 4.....	99
Figura 58 - NS Movimiento 7 .....	100
Figura 59 - NS Movimiento 9 .....	100
Figura 60 - NS Pata 1 HCM 2010 .....	101
Figura 61 - NS Pata 2 HCM 2010 .....	102
Figura 62 - NS Pata 3 HCM 2010 .....	102
Figura 63 - NS Pata 1 HCM 2016 .....	103
Figura 64 - NS Pata 2 HCM 2016 .....	103
Figura 65 - NS Pata 3 HCM 2016 .....	104
Figura 66 - Vehículo de proyecto .....	106
Figura 67 - Figura 10.6 Norma 3.1-IC .....	107
Figura 68 - Figura 10.7 Norma 3.1-IC .....	107
Figura 69 - Figura 4.6-B Guía de nudos viarios.....	109
Figura 70 - Figura 4.8-A Guía de nudos viarios.....	110
Figura 71 - Categorías de tráfico pesado T00 a T2.....	111
Figura 72 - Categoría de tráfico pesado T3 y T4.....	111
Figura 73 - Módulo de compresibilidad en el segundo ciclo de carga .....	112
Figura 74 - Alternativas de sección de firme .....	113
Figura 75 - Zonas térmicas estivales .....	116
Figura 76 - Ejemplo de disposición de la señalización .....	123
Figura 77 - Modelo (1) .....	128
Figura 78 - Modelo (2) .....	129
Figura 79 - Objetivos de desarrollo sostenible .....	172

## Índice de tablas

Tabla 1 - Matriz con valores conocidos e incógnitas .....	55
Tabla 2 - Resolución de la Matriz origen-destino .....	56
Tabla 3 - Determinación del hueco crítico .....	61
Tabla 4 - Determinación del tiempo complementario .....	61
Tabla 5 - Niveles de servicio intersección en T .....	64
Tabla 6 - Niveles de servicio en glorietas.....	67
Tabla 7 - Datos estación de cobertura 759 .....	89
Tabla 8 - Datos estación de cobertura 761 .....	90
Tabla 9 - Datos estación de cobertura 763 .....	90
Tabla 10 - Estación permanente 773 Carretera TF-655 Los Cristianos Km 7,85 (1) ...	91
Tabla 11 - Estación permanente 773 Carretera TF-655 Los Cristianos Km 7,85 (2) ...	92
Tabla 12 - Prognosis tráfico Estación 759 (1) .....	93
Tabla 13 - Prognosis tráfico Estación 759 (2) .....	93
Tabla 14 - Prognosis tráfico Estación 761 (1) .....	93
Tabla 15 - Prognosis tráfico Estación 761 (2) .....	94
Tabla 16 - Prognosis tráfico Estación 763 (1) .....	94
Tabla 17 - Prognosis tráfico Estación 763 (2) .....	95
Tabla 18 - Estación cobertura 759 laborables .....	96
Tabla 19 - Estación cobertura 759 festivos .....	96
Tabla 20 - Estación cobertura 761 laborables .....	97
Tabla 21 - Estación cobertura 761 festivos .....	97
Tabla 22 - Estación cobertura 763 laborables .....	98
Tabla 23 - Estación cobertura 763 festivos .....	98
Tabla 24 - Tipo de mezcla en función del tipo y espesor de la capa .....	115
Tabla 25 - Definición sección 221 .....	118
Tabla 26 - Definición sección 222 .....	118
Tabla 27 - Rendimientos por actividad.....	124
Tabla 28 - Plan de trabajos Fuente: Elaboración propia.....	125
Tabla 29 - Relación del trabajo con los ODS .....	173

## Resumen

Building Information Modeling (BIM) es una metodología de trabajo colaborativa que documenta todo el ciclo de vida de una edificación o infraestructura, haciendo uso de herramientas informáticas que son capaces de generar un modelo que contiene toda la información necesaria para todos los agentes intervinientes del proyecto

BIM representa una evolución en la forma de concepción, construcción y mantenimiento de las infraestructuras. La correcta utilización de esta metodología aporta una mejora sustancial de la calidad de los proyectos, tanto en los aspectos técnicos como sociales, mediante procesos que permiten analizar su factibilidad, reducir el riesgo y mejorar la comunicación.

El objetivo general de este Trabajo de Final de Máster (TFM) consiste en aplicar esta metodología para el rediseño de una intersección en T canalizada sin semaforizar localizada en el PK 3+477 de la carretera TF-652 en la provincia de Santa Cruz de Tenerife. La intersección presenta volúmenes de tráfico muy elevados y numerosos puntos de conflicto, lo que conlleva a una alta probabilidad de ocurrencia de accidentes de tráfico.

Para proponer un diseño que asegure mejoras en el flujo de tráfico y en la seguridad vial es necesario realizar un estudio de tráfico para caracterizar la demanda e identificar los problemas de capacidad existentes en la zona.

Una vez realizado el estudio de tráfico y desarrollada la propuesta de diseño, se elabora un modelo con sus tres dimensiones físicas más la integración de la dimensión tiempo, volcado en un cronograma y una planificación de las obras. También, se realiza un presupuesto en base a lo estudiado en el caso de estudio.

Palabras clave: BIM, España, infraestructuras, carretera, intersección, glorieta, estudio del tráfico, planificación, presupuesto

## Resumen ejecutivo

**TÍTULO DEL TRABAJO FIN DE MÁSTER:** Aplicación de la metodología Building Information Modeling (BIM) para el rediseño de la intersección localizada en el PK 3+477 de la carretera TF-652 en la provincia de Santa Cruz de Tenerife

**AUTOR:** Joel Santos Casanova

### RESUMEN EJECUTIVO

<p>1. Planteamiento del problema a resolver</p>	<p>En la actualidad la metodología BIM se encuentra claramente en auge. En España, a pesar de que se han establecido hitos para la exigencia dentro de las contrataciones públicas, el grado de implicación no es aún el relacionado a los máximos beneficios que se podrían obtener.</p> <p>El empleo de la metodología BIM está desarrollado en mayor medida en la rama de edificación. En infraestructuras se intenta trabajar para lograr la estandarización de los modelos y archivos de salida, de forma que sean compatibles entre todos los softwares.</p> <p>El menor desarrollo del BIM en infraestructuras como las carreteras no debe de servir de evasiva para la formación e involucración de los técnicos dedicados a los proyectos de infraestructuras. Por ello, con la elaboración del presente Trabajo de Fin de Máster, se pretende alcanzar un aprendizaje de la metodología mediante la integración dentro del entorno BIM de un proyecto de carreteras.</p>
<p>2. Objetivos</p>	<p><u>Objetivo general</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Emplear la metodología Building Information Modeling (BIM) para el rediseño de una intersección.</li> </ul> <p><u>Objetivos específicos</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Estudio de tráfico para caracterizar la demanda de tráfico e identificar los problemas de capacidad existentes.</li> <li>- Proponer un diseño que asegure mejoras en el flujo de tráfico y en la seguridad vial.</li> <li>- Planificar la obra identificando las distintas partes fundamentales en las que pueda descomponerse y los plazos de ejecución.</li> <li>- Elaborar un modelo que permita visualizar la solución adoptada.</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Analizar las ventajas del uso de la metodología BIM durante el proceso de realización del estudio.</li> </ul>
3. Estructura organizativa	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. <u>Introducción</u>: se indica que en consiste el TFM y cuál es su estructura.</li> <li>2. <u>Planteamiento</u>: se define la justificación, el alcance y los objetivos del trabajo.</li> <li>3. <u>Marco teórico</u>: se explica la base teórica de la metodología empleada. En este caso, se explica la metodología BIM y los métodos utilizados para el estudio del tráfico.</li> <li>4. <u>Caso de estudio</u>: se detalla minuciosamente el cuerpo principal del trabajo, describiendo de forma detallada todo su desarrollo y las diferentes partes y fases que las componen.</li> <li>5. <u>Conclusiones</u>: se extraen las conclusiones generales y específicas del TFM.</li> <li>6. <u>Bibliografía</u>: se detalla la bibliografía empleada para la realización del TFM.</li> </ol>
4. Método	<p>Para la elaboración del TFM y de los objetivos previstos, se han empleado los siguientes softwares:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Excel: realizar los cálculos correspondientes al estudio del tráfico</li> <li>- Istram: realizar el modelado 3D</li> <li>- Microsoft Project: para la planificación de la obra</li> <li>- Navisworks: integrar el modelo y la planificación de la obra para simular el avance de esta.</li> </ul>
5. Cumplimiento de objetivos	<p>El objetivo general y los específicos se han cumplido gracias a la implementación de la metodología BIM y los softwares empleados.</p> <p>El apartado “Caso de estudio”, se demuestra el cumplimiento de los objetivos.</p>



6. Contribuciones	De la realización del TFM se extrae un mayor conocimiento del BIM y de los softwares empleados. Así como, las ventajas y los beneficios de su implementación.
7. Recomendaciones	<p>Recomiendo la implementación de la metodología BIM en la gestión de los proyectos para desarrollarlo y gestionarlos de una forma más eficiente, productiva y beneficiosa.</p> <p>Es importante continuar formándose en la ampliación de los conocimientos BIM y de sus softwares ya que se encuentran en constante evolución. Así como, ser partícipes de este perfeccionamiento comunicando las imperfecciones o errores a sus desarrolladores, de manera que todos seamos capaces de conseguir que la metodología se perfeccione y desarrolle de la mejor manera.</p>
8. Limitaciones	<p>El BIM en infraestructuras se encuentra todavía en desarrollo y perfeccionamiento. No existe una estandarización para el intercambio de información entre los diferentes softwares. Se debe de mejorar la interoperabilidad.</p> <p>La generación del modelo del proyecto en Istram ha llevado bastante dedicación, ya que no se poseía de los conocimientos necesarios.</p>

## 1. Introducción

La infraestructura de transporte supone uno de los mayores sustentos de la economía moderna y contribuye de manera significativa al crecimiento económico y al bienestar de una nación. La optimización y mejora de las infraestructuras se relaciona fundamentalmente con las mejoras en seguridad vial.

El rediseño de la intersección objeto de este Trabajo Final de Máster pretende mejorar los flujos de tráfico existentes y mejorar la seguridad vial.

Para la elección del diseño final de la intersección resulta determinante la realización de un estudio del tráfico para analizar las características de circulación de la carretera y la influencia que ejerce el trazado de esta. Una vez definido el diseño geométrico, se procede a realizar el modelo que permite visualizar la solución y caracterizarla gracias a la incorporación de todos los datos del proyecto.

El desarrollo moderno de los proyectos de ingeniería empleando la metodología BIM permite no solo representar gráficamente el resultado final, sino que también permite detectar en fases tempranas de un proyecto las posibles interferencias o incongruencias de los datos.

El Trabajo Final de Máster contempla los siguientes apartados:

- Planteamiento. Se justifica el desarrollo del Trabajo Final de Máster, definiendo el alcance y los objetivos.
- Marco teórico. Se recoge toda la información y conceptos en relación con el Building Information Modeling (BIM) y con el estudio del tráfico.
- Casos de estudio. Se desarrolla y se exponen los resultados del caso de estudio. Se parte del estudio del tráfico realizado y el diseño geométrico, para terminar con la planificación de las obras y el presupuesto.
- Conclusiones. Se recogen los resultados y los aspectos más relevantes del Trabajo Final de Máster.

## 2. Planteamiento

## 2.1. Justificación

En la actualidad la metodología BIM se encuentra claramente en auge. En muchos países del mundo, la metodología es exigible para toda licitación pública en proyectos de edificación o infraestructura. En España, a pesar de que se han establecido hitos para la exigencia dentro de las contrataciones públicas, en realidad el grado de implicación no es aún el relacionado a los máximos beneficios que se podrían obtener.

El empleo de la metodología BIM está desarrollado en mayor medida en la rama de edificación. En infraestructuras se intenta trabajar para lograr la estandarización de los modelos y archivos de salida, de forma que sean compatibles entre todos los softwares.

El menor desarrollo del BIM en infraestructuras como las carreteras no debe de servir de evasiva para la formación e involucración de los técnicos dedicados a los proyectos de infraestructuras. Por ello, con la elaboración del presente Trabajo de Fin de Máster, se pretende alcanzar un aprendizaje de la metodología mediante la integración dentro del entorno BIM de un proyecto de carreteras.

## 2.2. Alcance

Rediseño de una intersección en la provincia de Santa Cruz de Tenerife empleando la metodología Building Information Modeling (BIM). Se analiza el problema existente, y se propone una solución técnicamente viable, modelando el resultado en BIM.

## 2.3. Objetivos

### Objetivo general

- Emplear la metodología Building Information Modeling (BIM) para el rediseño de una intersección.

### Objetivos específicos

- Estudio de tráfico para caracterizar la demanda de tráfico e identificar los problemas de capacidad existentes.
- Proponer un diseño que asegure mejoras en el flujo de tráfico y en la seguridad vial.



- Planificar la obra identificando las distintas partes fundamentales en las que pueda descomponerse y los plazos de ejecución.
- Elaborar un modelo que permita visualizar la solución adoptada.
- Analizar las ventajas del uso de la metodología BIM durante el proceso de realización del estudio.

## 3. Marco teórico

### 3.1. Building Information Modeling (BIM)

---

#### 3.1.1. Introducción

El sector de la construcción ha llegado hasta el siglo XXI sin haber integrado eficazmente los avances tecnológicos, de innovación y de gestión que le permitan tener niveles de productividad y competitividad similares a los existentes en el resto de los sectores industriales.

Esta característica es generalizada y común en todos los países de nuestro entorno geográfico y económico. A pesar de la importancia económica y social que la construcción tiene, sigue siendo uno de los sectores con menor índice de competitividad y productividad.

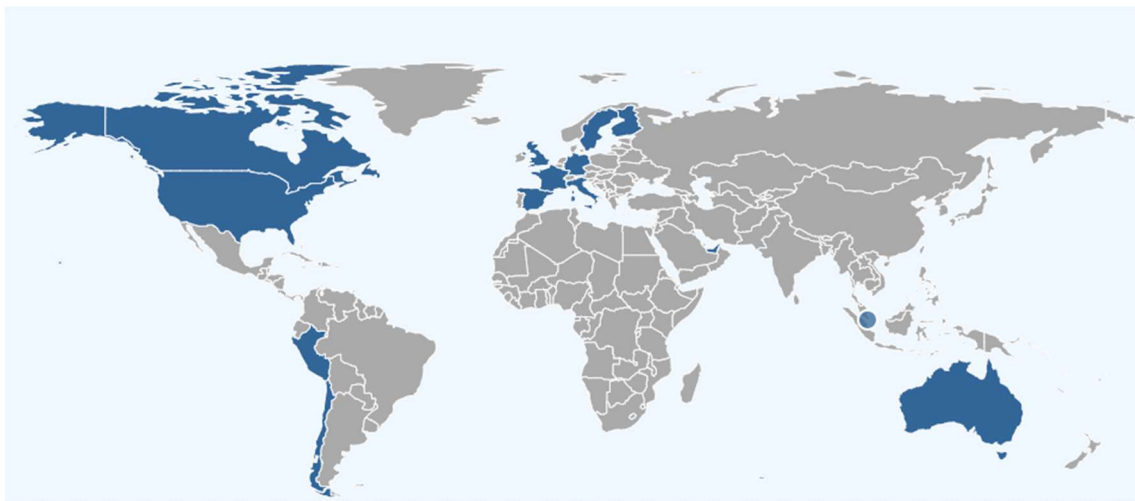
La construcción es una industria basada en proyectos y se impone una metodología tradicional de desarrollo y gestión. Esto no facilita la incorporación de herramientas suficientemente eficaces para reducir el grado de incertidumbre y riesgo, o el poder aumentar la fiabilidad y exactitud de otros factores que resultan determinantes en este sector como son el plazo, el coste y la calidad.

La necesidad de modernizar la industria de la construcción, de acuerdo con las exigencias de sostenibilidad actuales y de poner en valor su papel económico y social, hacen necesario un salto cualitativo a un entorno digital global que abarque todo el ciclo de vida de un proyecto, y que permita la integración y colaboración de todos los agentes intervinientes en el proceso.

#### 3.1.2. ¿Qué es BIM?

BIM (“Building Information Modeling” o “Modelado de información de la construcción”), es una metodología de trabajo colaborativo que documenta todo el ciclo de vida de la edificación y las infraestructuras, haciendo uso de herramientas informáticas con el fin

El empleo adecuado de esta metodología revierte en mejoras en la calidad de los procesos, reducción de riesgos, estimaciones más realistas en cuanto a plazos y costes, y minimiza o elimina las incompatibilidades que se presentan en los componentes de la de la edificación o infraestructura.



Fuente: [cbim.mitma.es](http://cbim.mitma.es)

El uso de la metodología BIM presenta un sinfín de beneficios que recaen principalmente en los resultados y que hoy en día suponen una verdadera revolución tecnológica en todos los niveles de la cadena de diseño, producción y gestión de las infraestructuras, permitiendo reducir coste y tiempo de proyectistas, constructores y demás agentes que intervienen en el proceso. Además, contribuye a la automatización de procesos,

generación inmediata de entregables, análisis de la constructibilidad y simulación previa de la construcción de las soluciones diseñadas.

Las ventajas del empleo del BIM son apreciables durante todas las fases del ciclo de vida del edificio o infraestructura. A continuación, se incluyen algunas de estas ventajas en cada una de las fases:

### Planificación

- Contribuye de manera clara a la definición de los requisitos de proyecto y su aceptación como base del diseño, ejecución y explotación de los diferentes agentes intervinientes.
- Puede emplearse en estudios previos de planeamiento, mediante modelos que permitan estudiar la viabilidad de los proyectos unificando información relativa al programa funcional, los sistemas constructivos, su coste y el análisis de su ciclo de vida.

### Diseño

- Favorece la comunicación entre los agentes que intervienen (diferentes disciplinas del diseño, cliente, partes interesadas), haciendo que la información sea más accesible, transparente y este siempre en constante actualización.
- Permite y facilita la toma temprana de decisiones, priorizando en función del valor que aporta o de las restricciones de diseño del proyecto. La toma temprana de decisiones produce una reducción del esfuerzo en retrabajos y, por tanto, una optimización en términos de coste.
- Facilita la participación de los futuros responsables en fases posteriores, construcción, mantenimiento y explotación, lo que conlleva una optimización en su futura intervención. La incorporación previa de estos intervinientes permite la toma de diseño en esta fase, momento en el cual se puede controlar de forma más eficiente el coste de las fases posteriores.
- Mejora la comunicación entre agentes y reduce las incoherencias entre las diferentes disciplinas, mejorando la calidad final del producto.
- Contribuye a la automatización de procesos y la generación de entregables con la consiguiente reducción en los tiempos de realización del diseño.

- Permite analizar la constructibilidad y realizar una simulación de la construcción de las soluciones de diseño adoptadas, minimizando los posibles riesgos e incertidumbres que se den en fases posteriores.
- Incrementa la calidad de los proyectos con la posibilidad de realizar auditorías en cualquier momento de la ejecución.
- Permite un mayor control del coste de construcción y mantenimiento.

### Construcción

- Facilita la realización de auditorías de proyecto con mayor seguridad y eficiencia.
- Proporciona a todos los participantes un mejor control de la documentación del proyecto y su permanente actualización.
- Favorece la realización de una planificación y un control de coste eficaz, al permitir simular las diferentes tareas a realizar, disminuyendo los errores de planificación que impactan directamente en los tiempos de ejecución. Por tanto, el empleo del BIM facilita la reducción de los plazos de ejecución y aporta un ahorro de costes.
- Mejora el seguimiento de la ejecución mediante la visualización del avance de la ejecución y su posible desviación con respecto a lo previsto.
- Permite la minimización de riesgos en materia de seguridad y salud, mediante la creación de la simulación de aquellas actividades que resulten más críticas, la eliminación de las actividades que son claramente identificadas como innecesarias y la propuesta de alternativas que disminuyan el riesgo.
- La obtención de datos digitales de la realidad construida de un trabajo finalizado y/o en proceso, favorece el proceso de certificación detectando las posibles desviaciones y cumpliendo las tolerancias.
- Facilita la adecuada identificación de los controles de calidad y su trazabilidad.
- Favorece la coherencia de la información y la gestión de cambios y modificaciones, dado que toda la información se encuentra en uno o varios archivos vinculados entre sí y sin incoherencia de datos.
- Permite determinar la trazabilidad en la toma de decisiones en la fase de construcción.

## Explotación

- El modelo generado de una edificación o infraestructura reúne toda la información necesaria para su explotación y mantenimiento.
- Los modelos que se generan son completamente integrables en cualquier sistema de gestión de mantenimiento proporcionando información realmente necesaria y con el formato que se determine.
- La constante actualización del modelo permite la identificación y determinación de los trabajos de mantenimientos a realizar y facilita la planificación.
- El modelo es la única fuente de información actualizada y fiable, por lo que no hay necesidad de comprobar el estado actual cada vez que se realiza una operación de mantenimiento, actualización o modificación del edificio o la infraestructura. El lugar donde se dispone la información es único y contiene todos los datos, incluido la historia de su construcción y explotación.
- El modelo y la información que contiene constituyen en sí mismos un valor añadido para los propietarios de estos activos.
- BIM permite avanzar a nuevos sistemas de contratación que optimicen los recursos y minimicen ineficiencias presentes en los sistemas tradicionales de contratación.

La gestión eficiente y eficaz de cualquier tipo de construcción se verá beneficiada por el empleo de esta metodología.

### **3.1.3. Proyecto BIM**

#### **3.1.3.1. BIM Execution Plan (BEP)**

El BIM Execution Plan (BEP) o Plan de Ejecución BIM es un documento que refleja las estrategias, procesos, técnicas, recursos, herramientas, sistemas, etc., que son aplicados para asegurar el cumplimiento de los requisitos BIM solicitados por el cliente para un proyecto determinado durante una o algunas de las fases correspondientes al ciclo de vida de este.

En las licitaciones públicas si el BEP forma parte de la oferta técnica aprobada por la Administración se trata de un documento contractual. Por lo tanto, si se desean realizar modificaciones estas deben ser consensuadas por los diferentes agentes intervinientes y, acordadas y aprobadas por el promotor previamente a la publicación de la

actualización. Hay que tener especial atención a las modificaciones que impliquen cambios en los procesos BIM y en el alcance de los modelos.

Existen una multitud de documentos y plantillas que recogen medidas y recomendaciones para la correcta elaboración de un BEP. El contenido de las recomendaciones que se realizan es el siguiente:

- Plan de ejecución. Se recomienda detallar objetivos, alcances, históricos de revisiones y proceso de cambios al BEP.
- Proyecto. En el proyecto se deben de establecer los datos de identificación, hitos del proyecto, objetivos del cliente, requerimientos del cliente y documentos de referencia del proyecto.
- Usos BIM. El BEP debe de incluir una descripción de todos los usos que se le pueden dar al modelo BIM, creando una asociación y alineación desde los objetivos del proyecto hasta las aplicaciones últimas detalladas en los usos de BIM. Los tipos de usos pueden ser:
  - Registro del estado inicial.
  - Generación de alternativas de diseño.
  - Integración de modelos.
  - Obtención de planos.
  - Obtención de infografía y/o videos.
  - Realidad virtual y/o aumentada.
  - Análisis energético.
  - Simulación constructiva.
  - Obtención de cuantificaciones y presupuesto.
  - Simulación de personas y vehículos.
  - Registro y consultas propuestas de cambios.
  - Registro del proyecto.
  - Seguridad y salud.
  - Seguimiento de la planificación de obra.
  - Seguimiento de certificaciones.

- Registro y consulta de incidencias.
  - Evaluación de sostenibilidad.
  - Control y producción de obra.
  - Registro “As-Built”.
  - Registro del mantenimiento
- Entregables BIM. Con respecto a los entregables BIM es recomendable definir como mínimo:
    - Listado de entregables.
    - Nivel de detalle gráfico.
    - Nivel de información gráfica.
    - Tabla de desarrollo del modelo.
  - Organización del modelo. En cuanto a la estructura de datos, se debe incluir lo siguiente:
    - Estructura de datos ficheros.
    - Clasificación de elementos constructivos.
    - Organización de capas.
    - Organización de parámetros y organización de ficheros y modelos.

Respecto a las interferencias, es recomendable realizar una matriz de interferencias con sistemas de comprobación de todas las colisiones que se pueden producir entre los diferentes elementos que componen el proyecto. Además, con respecto al origen de coordenadas, hay que especificar la posición y coordenadas de los puntos de referencia para poder coordinar cualquier elemento respecto a unas coordenadas comunes.

- Verificación de entregables. Se debe de incluir un apartado que describa la metodología que se llevará a cabo para asegurar que los entregables cumplen con lo descrito en los objetivos y requerimientos del cliente.
- Recursos humanos. Es recomendable especificar: equipo, roles y responsabilidades, e incluir un organigrama del equipo de trabajo.

- Recursos materiales. Con respecto a los recursos materiales se debe de incluir información acerca de hardware, software y mapa de software.
- Gestión de información. Se debe de incluir un apartado donde se describa la estrategia de gestión de datos, la estrategia de gestión documental y la estrategia de comunicación.
- Análisis de riesgos y oportunidades. Hay que identificar cada riesgo y oportunidad, categorizar el impacto y diseñar una respuesta para cada uno de los posibles riesgos derivados de la incorporación de la metodología BIM descrita en el BEP.
- Procesos BIM. Se debe realizar un apartado que incluya el proceso de generación y verificación de modelos BIM y derivados, proceso de gestión de cambios, proceso de intercambio de información entre agentes intervinientes, proceso de entrega a cliente, otros procesos según usos BIM especificados.

#### 3.1.3.2. Modelo digital

El modelo digital constituye una base de conocimiento fiable que permite que todos los agentes intervinientes trabajen de forma colaborativa durante todo el ciclo de vida de la construcción. Con el trabajo colaborativo se consigue uno de los principales objetivos, el beneficio mutuo.

El prototipo virtual representa digitalmente lo que se intenta construir o explotar en la realidad. A la vez que se elabora el modelo se genera una base de datos orientada a objetos que representan tridimensionalmente elementos constructivos.

Los elementos contienen toda la información relativa a la construcción y permite su visualización interactiva, facilitando la comunicación de los agentes intervinientes. Además, contribuye a centralizar la información que estos tienen sobre lo que se está proyectando, construyendo o explotando. Aunque el modelo es centralizado, habitualmente se compone de varios submodelos que describen partes bien definidas de la infraestructura o edificio.

El modelo permite vincular información externa, de forma que se pueden relacionar entradas de otros sistemas de gestión de la información como las herramientas de planificación o control de costes, facilitando la trazabilidad de la información y su adecuada interpretación.



El modelo contiene la información de forma estructurada y se pueden extraer planos, vistas tridimensionales, listados de mediciones, características de los materiales, etc. Sobre la información contenida en el modelo se pueden realizar simulaciones, comprobar el comportamiento energético, la coordinación de los diferentes trabajos en obra, comprobación de la eficiencia de las medidas de seguridad, seguridad vial, etc.

El modelo puede contener, tanto información preexistente de la construcción a gestionar, como información relativa a las diferentes fases del ciclo de vida de un edificio o infraestructura. Por ello, permite el análisis de estados sucesivos de la construcción y la programación de las acciones a realizar sobre la misma.

### 3.1.3.3. Interoperabilidad

BIM es una metodología de trabajo colaborativa, donde los flujos de información se deben garantizar para que los diferentes agentes que intervienen puedan tomar decisiones. Es importante garantizar la gestión eficaz de la información, por ello, la terminología a emplear, nomenclatura y estructura de la información debe ser conocida por todos.

Al intercambio de información se le conoce como interoperabilidad y para que se realice de forma eficaz el formato a emplear debe encontrarse estandarizado, garantizando la no pérdida de información en el traspaso de un software a otro o de un ordenador con propiedades de un usuario a otro.

#### 3.1.3.4. OpenBIM

Durante la elaboración de un proyecto por un equipo de trabajo multidisciplinar existe gran cantidad de información en diferentes formatos. Se debe buscar el intercambio de información en un entorno de trabajo basado en flujos de trabajos y estándares abiertos. Esto implica el origen de una nueva forma de comunicación en un entorno digital.

El principal impulsor de la difusión del Open BIM es la organización buildingSMART International, a través de la creación, el mantenimiento y el uso de estándares abiertos de intercambio de datos, Industry Foundation Class (IFC).

Según buildingSMART la importancia del Open BIM recae en que:

- Funciona con un flujo de trabajo transparente y abierto que permite que los agentes intervinientes participen independientemente del software que utilicen.

- Crea un lenguaje común para procesos con numerosas referencias, gracias al cual las empresas del sector y los gobiernos pueden acordar proyectos con condiciones comerciales transparentes, evaluaciones del servicio comparables y una calidad de datos asegurada.
- Proporciona datos permanentes para utilizarlos a lo largo del ciclo de vida del proyecto.
- Evita las entradas de datos duplicados y los errores correspondientes.
- Todos los proveedores de software pueden participar y competir en soluciones de primera clase, independientemente del sistema que utilicen.
- Refuerza la oferta de productos en línea, con búsquedas más precisas de las solicitudes de los usuarios.
- Suministra los datos del producto directamente en BIM.

#### 3.1.3.5. Gestión de la información

La gestión de la documentación se debe realizar a través de una plataforma de colaboración de forma que se mejore la comunicación, se homogenice la información, y se establezca un entorno de colaboración. Además, la información debe de encontrarse correctamente estructurada permitiendo la deslocalización de los equipos de trabajo.

#### 3.1.3.6. BIM Collaboration Format (BCF)

BIM Collaboration Format (BCF) es un archivo de comentarios sobre un proyecto que refleja el historial de las interacciones realizadas por los agentes intervinientes. Permite gestionar las idas y venidas de la información, los requerimientos, las colisiones, etc.

El archivo no contiene el modelo, si no los datos asociados al modelo y permite editarlo se tenga o no el modelo a disposición.

A través de este archivo se pueden gestionar las incidencias, aportar comentarios, supervisar las asignaciones, controlar los cambios, generar informes de interferencias, etc.

### 3.1.3.7. Common Data Environment (CDE)

Para trabajar eficazmente en un entorno BIM hay que establecer la gestión estructurada de la información y el intercambio de datos, este intercambio debe realizarse en un entorno fiable, seguro, ágil y correctamente estructurado.

Un Commom Data Environment (CDE) o Entorno de Colaboración Común es una herramienta informática usada para recopilar, gestionar, difundir datos de un modelo y documentos del proyecto entre equipos multidisciplinares. Permite a la vez la generación de un proceso auditable, transparente y controlable.

El trabajar con esta herramienta supone generar una única vez la información requerida, y esta se utiliza indistintamente por todos los colaboradores en todos los documentos o entregables que sean necesarios. Esto garantiza que se trabaje sobre las versiones definitivas de los elementos y que la información se vaya enriqueciendo de forma ordenada a lo largo del ciclo de vida del proyecto.

Normalmente, para realizar el control de los cambios, el propietario de la información añadida es el responsable de realizar modificaciones, asegurándose así posibles pérdidas de información en un trabajo multidisciplinar.

La herramienta CDE debe permitir:

- Incorporar, consultar y obtener la información del proyecto, tanto archivos como comunicaciones entre los interesados (correos electrónicos, ordenes de cambio, tareas, consultas, etc.).
- Gestión de accesos. No todos los interesados deben acceder a toda la información.
- Compartir información mediante enlaces.
- Control de versiones.
- Búsqueda fácil de la información mediante el empleo de filtros o etiquetas.
- Flujos de trabajo integrados en la gestión de la documentación (aprobaciones, comentarios, etc.).
- Visualizar modelos y permitir anotaciones.
- Combinación de archivos IFC para su visualización y análisis.
- Exportación de datos de forma estructurada.

- Planificación del proyecto BIM (requerimientos cliente, plan de ejecución, protocolos, niveles de detalle e información de los elementos, etc.).

#### **3.1.4. Dimensiones BIM**

La metodología BIM como una herramienta de trabajo colaborativo basada en el empleo de software dinámico de gestión de datos de un edificio o infraestructura durante todo el ciclo de vida, abarca las tres fases más importantes de un proyecto: diseño, construcción y mantenimiento.

Con el proceso BIM se genera el denominado modelo digital que comprende las características geométricas, el diseño, las interrelaciones entre los diferentes elementos constructivos, la planificación de las diferentes fases en el tiempo, la información geográfica, propiedades y mediciones de los elementos, etc.

Las diferentes etapas de diseño y gestión de un edificio una infraestructura, junto con las fases posteriores de explotación, mantenimiento y desmantelamiento de esta, se ven inmersas en una dinámica de trabajo en la que se desarrollan 7 dimensiones diferentes.

##### **1D = El concepto**

Todo proyecto a realizar parte de un concepto o idea inicial. En esta primera dimensión se definen las condiciones iniciales, la localización del edificio o infraestructura, se realizan las primeras estimaciones (superficies, volúmenes, costes, ...), se elabora un plan de ejecución, etc.

##### **2D = El boceto**

Tras terminar la fase de concepto, se procede a la preparación de un boceto inicial mediante el uso de un software BIM que nos permita determinar las características generales del proyecto. Durante esta dimensión se debe de plantear los materiales a emplear, definir las cargas estructurales, establecer las bases de sostenibilidad del proyecto, etc.

##### **3D = Modelado**

A partir de la información generada en las dimensiones anteriores se genera el modelo 3D que sirve como base para el resto del ciclo de vida del proyecto. El modelo no es solo un elemento tridimensional, incorpora toda la información necesaria para que se puedan realizar las siguientes dimensiones.

## **4D = Planificación**

La dimensión 4D hace referencia a la dimensión temporal con el objetivo de determinar los plazos de ejecución para lograr que estos se cumplan. En la planificación se tienen en cuenta la logística de la obra, cuando se necesitan los medios auxiliares, los rendimientos de los diferentes trabajos, etc. Realizar una planificación ayuda a anticiparse a los posibles conflictos que puedan surgir durante la obra, corrigiendo estos en fase de diseño donde el coste es mucho menor.

## **5D = Costes**

El control de los costes y la estimación de estos afecta notablemente sobre la rentabilidad del proyecto. Es por ello, que en esta dimensión se generan presupuestos, se realizan estudios de viabilidad económica, se gestionan las ofertas y contrataciones, y se analiza el retorno de la inversión y los beneficios.

Al incluir en modelo BIM información detallada de cada uno de los elementos que conforman el modelo, es relativamente sencillo generar informes presupuestarios en cualquier momento de la vida del edificio o infraestructura.

## **6D = Simulación**

En esta dimensión se realiza el planteamiento y simulación de las posibles alternativas contingentes y su análisis. Es una fase de elección en la que se selecciona la alternativa óptima teniendo en cuenta todas las dimensiones del proyecto BIM.

## **7D = Gestión del ciclo de vida**

BIM representa un entorno de gestión en el que se encuentra y se estructura toda la información referente a un edificio o infraestructura durante su vida útil. De esta forma en los softwares se localizan todas las características de los elementos que componen el proyecto (dimensiones, costes, planes de mantenimiento, etc.).

Esta dimensión define la guía para aumentar y mantener la calidad del edificio o infraestructura una vez construido, incluyendo lo referente a inspecciones, reparaciones, etc. Para los clientes es una de las dimensiones más destacables debido a que repercute en su utilidad y la gestión de los costes de conservación.

### 3.1.5. Niveles de desarrollo

Level Of Development (LOD) o Nivel de desarrollo es un indicador que nos indica el nivel de desarrollo que en cada caso posee el modelo BIM de cualquier edificio o infraestructura.

A través del LOD se sabe el nivel de información, parámetros y geometría de un modelo BIM. Esto afecta directamente en el nivel de detalle del modelo y su aspecto visual, aunque no todos los parámetros son visibles observando el modelo virtual, siendo necesario la interacción con este para conocer la profundidad del nivel de desarrollo.

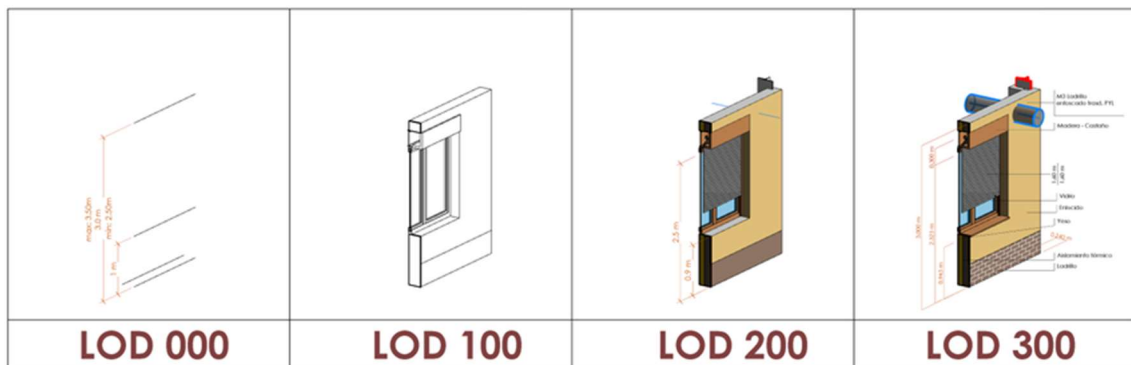


Figura 2 - LODs (1)

Fuente: [editeca.com/lod-nivel-de-desarrollo/](http://editeca.com/lod-nivel-de-desarrollo/)

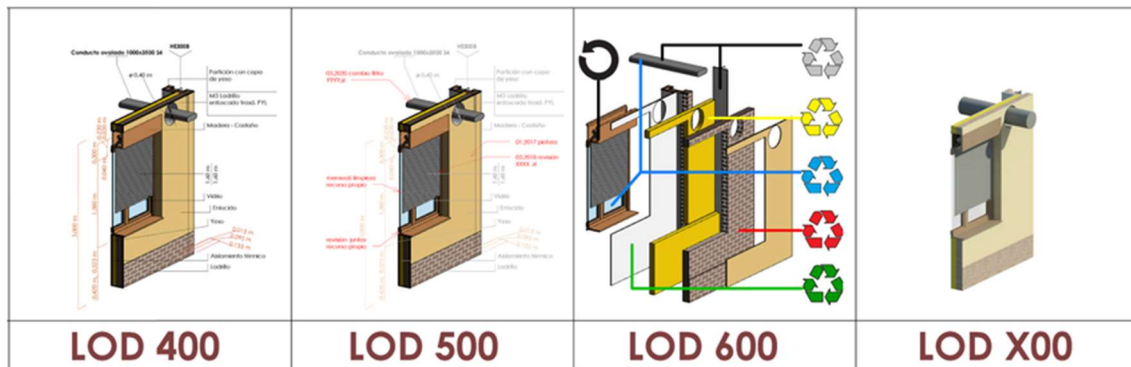


Figura 3 - LODs (2)

Fuente: [editeca.com/lod-nivel-de-desarrollo/](http://editeca.com/lod-nivel-de-desarrollo/)

Se establecen los siguientes niveles de desarrollo:

#### LOD 100

Es el nivel más básico y se trata de un nivel de aspecto físico, propuesta visual o de diseño conceptual que equivale a un nivel de desarrollo de entorno al 20%. No es

necesaria la definición geométrica y muchos elementos pueden permanecer en esta fase de desarrollo durante etapas muy avanzadas del proyecto.

## LOD 200

El LOD 200 es el nivel más bajo donde se pueden incluir información no gráfica, como puede ser información relativa a los costes, características de envolventes, pesos, fabricantes y manuales de mantenimiento. En este nivel se define gráficamente el elemento correspondiente, especificando de una forma aproximada las cantidades, el tamaño, la forma y la localización definitiva.

**LOD 300**

El elemento en desarrollo está definido geométricamente en detalle, puesto en su localización perteneciendo a un sistema constructivo específico. Además, se define su uso y montaje en términos de cantidades, dimensiones, forma, ubicación y orientación.

El elemento siempre presenta representación gráfica y puede contener información no gráfica. A diferencia de los anteriores niveles de desarrollo, en este nivel ya se puede observar con detalle los elementos.

## LOD 350

Este nivel de desarrollo es equivalente al LOD 300 pero incluye la detección de interferencias que existe entre los diferentes elementos. Este nivel es propio de los proyectos complejos que son desarrollado independientemente por disciplinas, por lo que afecta al análisis, programación y coordinación del proyecto BIM.

**LOD 400**

En el LOD 400 el elemento está definido geométricamente en detalle, en posición, perteneciendo a un proceso constructivo específico, uso y montaje en términos de cantidades, dimensiones, forma, ubicación y orientación con detallado completo, información de fabricación específica para el proyecto, puesta en obra e instalación.

Además, existe la posibilidad de incluir información no gráfica vinculada al elemento.

**LOD 500**

El elemento está definido geométricamente en detalle, en posición, perteneciendo a un sistema constructivo específico, uso y montaje en términos de cantidades, dimensiones, forma, ubicación y orientación.

Existe la posibilidad de incluir información no gráfica vinculada al elemento. Se verifica la información de este nivel en relación con el proceso constructivo finalizado (“As built”).

El uso del nivel LOD 500 está vinculado al futuro del edificio o infraestructura pudiendo incluir:

- Determinación del estado actual.
- Especificaciones y aprobaciones de productos.
- Uso y mantenimientos directos o indirectos.
- Información relativa a la gestión y explotación, así como renovaciones y modificaciones.

### Innovaciones

#### **LOD 000**

En el LOD 000 se incluyen:

- Características propias del terreno: topografía, geotecnia, etc.
- Características del entorno: clima, conexiones, necesidades locales, etc.
- Características propias de la parcela: referencia catastral, superficie, divisiones, dotaciones, etc.
- Condicionantes urbanísticos: alturas máximas, retranqueos a parcelas colindantes, acabados específicos, etc.

En el caso de actuaciones de rehabilitación y/o reformas, se determina el estado actual del edificio, caracterizando los elementos existentes y su estado de cara a futuras actuaciones (derribo, reparación, reciclado, mantenimiento, o cambio de uso).

El desarrollo de nuevas tecnologías como escáner 3D, termografía, resonancia magnética o fotografía desde satélites, permite añadir a datos geométricos nuevos parámetros, como orientación de cada punto, color, geoposicionamiento, e incluso datos como densidades, grosores de capas, temperaturas, etc.

#### **LOD 600**

Relativa a los parámetros de reciclado de cada elemento del modelo, en el elemento se incluyen las cuestiones energéticas derivadas del reciclado, factores determinantes para la viabilidad del mantenimiento o renovación de edificios completos o elementos singulares del mismo, en fases de prediseño, diseño, obra, mantenimiento y demolición.



El elemento objeto no está definido geométricamente en detalle, pero sí lo están sus condiciones de reciclado, como materiales propios, toxicidad, vida útil, distancia a puntos de fabricación o reciclaje, peso y volumen, formas de traslado y desmontaje, etc.

El nivel de desarrollo está basado principalmente en información no gráfica vinculada a un elemento.

## **LOD X00**

El nivel de desarrollo LOD X00 está basado en el empleo de la realidad virtual. Se incluye también el escaneado en 3D, que ya es usado en edificios existentes que van a ser demolidos definitivamente, o trasladados de su emplazamiento original.

Es preciso que el elemento objeto este definido geométricamente por completo para añadir nuevos conceptos como distancia desde la que es visible y distintos grados de definición geométrica.

### **3.1.6. Estandarización**

#### **3.1.6.1. Formato IFC**

El formato de estandarización internacional es el Industry Foundation Classes (IFC), es un formato de archivos desarrollado por buildingSMART International con el objetivo de promover el OpenBIM, compartiendo información independientemente del software y garantizando así la interoperabilidad.

Las características más importantes de este formato es que es abierto, neutro y no es controlado por los productores de software.

BuildingSMART International ha creado un programa de certificación profesional en la búsqueda de trabajar con estándares abiertos. El programa se está implementando en numerosos países de todo el mundo (Bélgica, Canadá, Francia, Alemania, Irlanda, Japón, Corea, Luxemburgo, Holanda, Noruega, España, Reino Unido, etc.).

#### **Usos**

Actualmente el formato IFC se usa especialmente para la fase de diseño y construcción de un proyecto, basándose en la visualización y la detección de interferencias. Está enlazado no solo a las características geométricas de la infraestructura, sino también a los datos o información contenida en los distintos archivos BIM.

El formato IFC es un modelo de datos estandarizado que codifica, de manera lógica:

- Identidad y semántica: nombre, identificador único legible por dispositivo tipo de objeto o función.
- Características o atributos: material, color y propiedades.
- Relaciones de objetos: ubicaciones, conexiones y propiedad.
- Conceptos abstractos: rendimiento y coste.
- Procesos de instalación y operaciones.
- Agentes intervinientes: propietarios, diseñadores, contratistas, proveedores, etc.

### Formatos

Los datos IFC pueden codificarse en varios formatos (XML, JSON y STEP), transmitirse a través de servicios web o bases de datos vinculadas, importarse/exportarse en archivos y/o administrarse de forma centralizada.

### Certificación

El buildingSMART International ha definido un proceso de certificación que asegura la correcta importación y exportación de los datos IFC con la garantía de conformidad a los estándares y que está soportado por más de 140 plataformas software.

#### - Certificación IFC2x3

Coordination View 2.0 (CV2.0) se dirige a la coordinación entre las tareas de arquitectura, ingeniería estructural y servicios de construcción durante la fase de diseño. El Model View Definitions (MVD) incluye formas paramétricas para una gama limitada de elementos y la capacidad de incluir también formas no paramétricas para todos los demás elementos. Se pueden asignar conjuntos de propiedades, definiciones de materiales y otra información alfanumérica a esos elementos.

El proceso de certificación divide el CV2.0 en tres intercambios de exportación específicos diferentes: servicios arquitectónicos, estructurales y de construcción, pero solo tiene un intercambio de importación, todo el MVD.

#### - Certificación IFC4

El programa de certificación IFC4 es una continuación y avance del trabajo iniciado con el programa de certificación IFC2x3. Se basa en IFC4 Reference View 1.2 e incluye intercambios de exportación de servicios arquitectónicos, estructurales y de construcción (también conocidos como MEP), así como una importación integral.

## IFC Road

El Proyecto Internacional de Carreteras de IFC está aún trabajando en este tipo de formato. El modelo conceptual final se ha publicado, se ha realizado la fase de desarrollo de la extensión del esquema IFC y el siguiente paso es la implementación y certificación.

El equipo de IFC Road continúa trabajando para conseguir el estándar final. Existe un compromiso conjunto con el proyecto de implementación para entregar un estándar armonizado con el trabajo continuo en el proyecto de esquema común.

El equipo se encuentra actuando en las siguientes áreas:

- Identificación de requisitos de validación e indicadores de éxito.
- Desarrollo de casos de prueba.
- Soporte de implementación (importante en los proveedores de software).
- Validación de datos de prueba.
- Realimentación.
- Armonización de conjuntos de propiedades.
- Actualizaciones de la documentación del esquema.
- Entrega estándar final.

### 3.1.6.2. Estandarización en España

Para que se realice la estandarización en España el buildingSMART Spanish Chapter desarrolla las siguientes actividades:

1. Promociona el uso de BIM en todos los procesos relacionados con el sector de la construcción y durante todo el ciclo de vida.
2. Promociona el uso de BIM en todos los procesos de intercambio de información entre los agentes del sector de la construcción.
3. Promueve y define nuevos procesos de trabajo y negocio para los diferentes agentes, adaptados a la metodología BIM a lo largo del ciclo de vida.
4. Involucra a todos los agentes intervinientes en la industria de la construcción en el uso de las tecnologías BIM para mejorar los procesos de trabajo y negocio tradicionales.
5. Promueve y desarrolla estándares abiertos para el intercambio de información relacionado con edificios e infraestructuras.

6. Desarrolla guías y programas de formación que faciliten la adaptación a la metodología BIM en la industria de la construcción.
7. Coordina, promueve y patrocina actividades de investigación y desarrollo que favorecen la asimilación de la tecnología BIM.
8. Coordina, promueve y patrocina actividades de difusión y promoción de las actividades llevadas a cabo por la Asociación.
9. Expone los intereses de España en las decisiones que se tomen en la Building Smart Internacional.
10. Promueve métodos de contratación participativos.

### **3.1.7. Situación actual del BIM**

La metodología BIM posee amplias cualidades que hace que su implantación sea compleja. Por ello, se precisa que esta sea progresiva, coordinada y ordenada, requiriendo de referencias claras como estándares, guías, protocolos e instrucciones técnicas.

BIM se debe implantar consiguiendo dos grandes objetivos, su uso en los proyectos de construcción y la generación de entregables. Se deben de generar modelos de información y gestión.

Es importante la estandarización de la información, ya sea de tipo gráfica o no gráfica (costes, propiedades, operaciones de mantenimientos, fichas de colocación, etc.).

Las ventajas de la implantación BIM recae en la oportunidad que ofrece para cambiar ante mercados más exigentes y de crear oportunidades de trabajo a través de sistemas colaborativos, para lo que se necesita de técnicos cualificados y una nueva gestión en la empresa.

Los riesgos, sin embargo, se focalizan en la cultura de la organización y en que la adaptación no sólo debe ser tecnológica sino metodológica y global, es decir, que abarque desde las personas hasta el software y el sistema en general.

A la hora de implementar la metodología BIM en una empresa hay que tener en consideración los siguientes factores:

- Objetivos concretos y medibles.
- Inversión en tiempo y coste.
- Elección del momento adecuado.

- Planificación de la inversión.
- Disposición de un equipo en el que se cree una atmósfera BIM.
- Revisión de procesos y procedimientos actuales.

Tras la implementación las empresas serán más adaptables, habrá una mayor flexibilidad, menor inversión, aumento de la productividad, nuevas oportunidades de colaboración con empresas más grandes y mejora de la imagen corporativa.

Por el contrario, las desventajas se centrarán en la mayor dependencia de las herramientas comerciales de software, dificultad de formación sin perder productividad, complicación inicial para encontrar colaboradores, y la previsión y capacidad de inversión.

#### 3.1.7.1. Implantación en Europa

En el Manual para la introducción de la metodología BIM por parte del sector público europeo EUBIM, se proporciona a los agentes del sector público una serie de recomendaciones a nivel de política, estrategia y ejecución de cara a la introducción del BIM.

Los gobiernos no pueden conseguir esta implantación por sí solos, por ello es importante que la industria trabaje a la par con ellos, prestando la debida atención a los modelos comerciales, la educación, el desarrollo de competencias profesionales y los cambios en las prácticas actuales.

La adopción del BIM se debe realizar en la escala adecuada, con la orientación de personal cualificado que posea las competencias digitales y la capacidad de desarrollar sus funciones a lo largo de toda la cadena de valor y en proyectos de diferente naturaleza, complejidad y envergadura.

#### **Recomendaciones generales**

Tras la crisis financiera de 2008, la necesidad de reducir el gasto global ha afianzado la exigencia de maximizar la rentabilidad de los fondos públicos. Los retos que hoy en día tiene el sector de la construcción son enormes y se centran en el área de urbanización y crisis de la vivienda, falta de mano de obra cualificada, escasez de recursos, cambio climático, economía circular, mercados globalizados y envejecimiento de la infraestructura.

Los promotores públicos al ser los principales clientes del sector de la construcción tienen capacidad para impulsar el cambio. Debido a su figura como grupo de clientes no

competitivos, transparentes y no discriminatorios, este colectivo puede invertir fondos públicos para garantizar una mayor rentabilidad para los contribuyentes y estimular el mercado a través de la contratación pública.

### Importancia del liderazgo público

La importancia del liderazgo público para fomentar el BIM recae en los siguientes aspectos:

- El empleo de la metodología BIM prevé la mejora de la rentabilidad de las inversiones públicas, traducidos en costes de construcción más precisos y bajos y en reducción de los retrasos en la ejecución.
- La contratación pública tiene un papel impulsor en la innovación. Uno de los objetivos recogidos en la Directiva de la Unión Europea sobre contratación pública es que los gobiernos, como los mayores contratistas de construcción con un gasto público de aproximadamente el 30 % de la producción constructora total, influyan y promueven la innovación.
- El sector está altamente fragmentando, constituyéndose en su mayoría por PYMEs con poca capacidad de organización y orientación. Es por lo que, el papel de interconexión entre organismos es clave por parte de la administración.

### Enfoque común

Los beneficios derivados de la adopción de un enfoque común con respecto al BIM a nivel europeo son:

- Aceleración de las iniciativas nacionales, a través del trabajo colaborativo y el intercambio de mejores prácticas.
- Minimización de costes, trabajando en la reutilización del conocimiento y los avances existentes.
- La adopción de un enfoque similar al de los países vecinos incrementará la fortaleza y la eficacia de cada plan nacional.
- Un enfoque homogéneo impulsará el comercio y generará oportunidades de crecimiento internacionales.
- Fomento del desarrollo de normas internacionales e integración del software, para garantizar una competencia abierta y el libre intercambio de información entre las diferentes plataformas de software.

## Recomendaciones estratégicas

Como parte de la estrategia para la implementación del BIM, las organizaciones públicas deben de trabajar sobre los siguientes aspectos:

- Establecer el liderazgo público, mediante la definición de una visión y objetivos claros, documentar la propuesta de valor y estrategia. Además, deben de identificar un patrocinador, las fuentes de financiación y un equipo de gestión.
- Comunicar la visión de la metodología BIM e incentivar a las comunidades, colaborando con la industria desde una fase temprana, creación de redes y utilizar herramientas de comunicación (eventos, medios de comunicación, redes sociales, etc.).
- Desarrollar un marco de cooperación, mediante el desarrollo de un marco jurídico y reglamentario, el desarrollo o referencia a normas técnicas y de procesos, y el desarrollo de competencias, herramientas y recomendaciones.
- Incrementar la capacidad de la industria, a través de la promoción de proyectos piloto, el incremento de la utilización para aumentar la capacidad, medición y seguimiento de los progresos realizados e integración del cambio.

## Recomendaciones a nivel de ejecución

Se realizan recomendaciones en cuanto a política, aspectos técnicos, procesos y recursos humanos y profesionales, donde se detalla aspectos como las actuaciones que se proponen, la importancia de la actuación, recomendaciones de ejecución en cada caso, y como se ha ejecutado tal actuación.

### 3.1.7.2. Implantación en España

#### **es.BIM**

Hasta inicios del 2019 es.BIM era el principal organismo encargado de la implantación de la metodología BIM en España. Estaba formado por una comisión, un comité técnico y varios grupos de trabajos. Hoy en día es.BIM permanece, pero como un lugar donde se introduce información sobre jornadas, casos de éxito, encuestas y donde también se incluyen los documentos elaborados por los grupos de trabajo, una vez obtenida la conformidad de los miembros.

## Comisión Interministerial

La Comisión BIM, como inicialmente tenía el nombre, era un grupo multidisciplinar abierto constituido en 2015 y promovido por el Ministerio de Fomento, con participación de varios agentes con la misión de implantar la metodología BIM en España y reducir los costes de las infraestructuras a lo largo de todo su ciclo de vida. Estos agentes provienen tanto del sector público como del privado.

En febrero de 2019 se crea la Comisión Interministerial para que lleve a cabo la implantación de BIM en la contratación pública de forma que permita una actuación eficaz y segura entre la Administración General del Estado y las entidades integrantes del sector público que deban aplicar esta metodología.

La comisión es un órgano colegiado, adscrita al Ministerio de Fomento y de carácter temporal.

### Funciones

- Elaboración de un Plan de Incorporación de la Metodología BIM en las licitaciones públicas, en el que se determine las actuaciones para la incorporación gradual y progresiva, los umbrales mínimos para la obligatoriedad de su aplicación, las medidas para la incorporación de las PYMEs, y los criterios de valoración en los pliegos (criterios de adjudicación, especificaciones técnicas del contrato o condiciones especiales de ejecución).

En este Plan también se incluyen los estudios relativos a los estándares de código abierto, las medidas para garantizar la seguridad de los datos y las condiciones de utilización.

- Seguimiento de las medidas contenidas en el plan, que consta de revisiones periódicas y desarrollo de informes periódicos.
- Formación de los profesionales encargados de la puesta en marcha y promoción del uso BIM dentro del ámbito profesional y docente.

## Documentos

### Observatorio de licitaciones BIM

El objetivo del observatorio de licitaciones BIM es el de verificar la progresión de la inclusión de requisitos BIM en pliegos de licitación pública diferenciados por categorías (tipología de la licitación y cliente licitador, fase del ciclo de vida, etc.).



El observatorio también analiza en qué forma se incluye BIM en estos pliegos (usos BIM considerados, niveles de detalle, entregables, uso de formatos abiertos, requisitos de colaboración, etc.).

## Informe de análisis del impacto de la implantación BIM PYMEs

Desarrollado debido a la repercusión de las PYMEs en el sector, actualmente el 99,96% del tejido empresarial en el sector de la construcción español son PYMEs.

Este informe se centra en el BIM como una oportunidad para cambiar, en los riesgos que suponen la implementación BIM y elabora unas recomendaciones para la implementación BIM.

## Guía es.BIM

- Guía para la elaboración del BEP

El objetivo es dotar de un instrumento a los promotores con las líneas generales para establecer los pliegos de licitación con requerimientos BIM en función de sus necesidades y capacidades.

La guía hace referencia a tipos de licitación pública, a usos y objetivos BIM y establece recomendaciones sobre:

- BIM Execution Plan.
- Proyecto BIM.
- Usos del modelo.
- Entregables BIM.
- Organización del modelo.
- Verificación de entregables BIM.
- Recursos humanos necesarios y roles.
- Gestión de la información.
- Análisis de riesgos y oportunidades.
- Procesos BIM y estándares.

- Guías de Modelo de Arquitectura

En la Guías de Modelo de Arquitectura se establecen recomendaciones generales a los agentes generadores modelos BIM específicos de arquitectura, con el fin de que puedan cumplir con los requisitos especificados para dichos modelos.

Se definen recomendaciones para cada fase del ciclo de vida del proyecto:

- Fase 0: Estrategia
  - Fase 1: Estudios previos
  - Fase 2: Anteproyecto
  - Fase 3: Proyecto Básico
  - Fase 4: Proyecto de Ejecución
  - Fase 5: Construcción
  - Fase 6: “As built”
  - Fase 7: Mantenimiento
- Guía de Uso de Modelos para Gestión de Costes

Esta guía tiene por objetivo recomendar y facilitar usos, criterios y modos de trabajo, a la hora de abordar mediciones, presupuestos, y valoraciones en los procesos de edificación o infraestructuras desarrollados con metodología BIM, de tal manera que, gracias al buen uso del BIM, se aumenta la fiabilidad, automatización y orden de la información obtenida para dichas mediciones y valoraciones.

Las recomendaciones que se recogen en esta guía se dividen en las mismas fases que se reflejan en la Guía de Modelo de Arquitectura.

### **Observatorio de licitaciones**

En el primer trimestre de 2021 hubo un total de 85 licitaciones que una inversión acumulada de 53,8 millones de euros.

Comparando los valores obtenidos este trimestre con los acumulados en el año 2020, se observa que en este trimestre se ha publicado lo correspondiente al 19% del número total de las licitaciones publicadas el año anterior y que en términos de inversión supone un 7% del presupuesto base de licitación total acumulado durante el anterior año. En el último trimestre del 2020 se alcanza un pico en estos indicadores monitorizados, a partir del cual, éstos empiezan a descender, un 31% en el caso del número de licitaciones publicadas y un 83% en la inversión. No obstante, hay que esperar a obtener los valores de los siguientes trimestres para poder comprobar si en 2021 se mantendrá la tendencia de años anteriores en la que los valores registrados mejoran gradualmente a medida que transcurre el año.

### Aspectos relativos al Pliego de Condiciones Administrativas

Sigue manteniéndose un alto porcentaje del número de licitaciones en las que el uso de BIM es obligatorio (81%).

La introducción de la obligatoriedad del uso de BIM en un contrato se establece en el Pliego de Cláusulas Administrativas como solvencia técnica o en el Pliego de Prescripciones Técnicas, pudiendo introducirse, adicionalmente, como criterio evaluable. En aquellos casos en los que no es obligatorio se suele introducir como criterio de adjudicación evaluable técnicamente o bien como mejora.

La forma más habitual es su introducción en el pliego de cláusulas administrativas, dentro de los criterios de evaluación e independientemente de su obligatoriedad.

Analizando la solvencia técnica, la incorporación de perfiles BIM en el equipo técnico suele ser más requerida que el aporte de referencias por parte del licitador, aunque en la mayoría de las licitaciones no se requiere la justificación de estos perfiles mediante experiencia o formación BIM específica.

A la hora de incorporar la metodología BIM como parte de la puntuación técnica de la oferta, en tres de cada cuatro licitaciones se valoran como mínimo los siguientes aspectos:

- Incorporación de perfiles BIM.
- Estrategia de desarrollo de usos BIM requeridos en el pliego.
- Adecuación de la metodología BIM a los requisitos de información.
- Estrategia de implantación BIM en el contrato.
- Realización de usos BIM adicionales.

Conviene recordar la importancia de otros aspectos a valorar y que actualmente tienen un porcentaje muy bajo, como es el caso de la presentación de un BEP y el desarrollo de un control de calidad específico BIM.

El peso del BIM en la puntuación total de la oferta según tipo de contrato es:

- Contratos de redacción de proyectos → 7,89%.
- Contratos de ejecución de obra → 5,22%.

#### Requisitos BIM del Pliego de Condiciones Técnicas

El 60% de las licitaciones definen en sus pliegos los requisitos BIM más importantes, aunque lo hace de una manera genérica y sin particularizar según el objeto del contrato, siendo más común complementar la información proporcionada en los pliegos con manuales o estándares generales y propios de la Entidad Adjudicadora.

Más del 66% de las licitaciones define requisitos de colaboración.

- Usos más habituales

El 74% de las licitaciones analizadas define al menos algún uso BIM y se observa que existe un conjunto de usos cuya aplicación suele exigirse de manera recurrente. Entre los usos BIM más comunes se encuentran:

- Obtención de mediciones y/o presupuesto.
- Simulación constructiva.
- Planificación de la obra.
- Obtención de un modelo para mantenimiento del activo.

La utilización de la metodología BIM en la planificación de la obra es un uso muy demandado (79,4%), aunque su aplicación en el seguimiento y obtención de certificaciones sigue siendo un uso poco demandado (1,6%).

#### Entregables BIM

Es muy importante que los entregables BIM estén establecidos y definidos acordes a los Usos BIM esperados del modelo. En el primer trimestre de 2021, el 78,8% de las licitaciones BIM definen entregables, mientras que el 74,1% define los usos BIM establecidos en el contrato. Hay que recalcar la importancia de que el establecimiento de usos BIM es anterior al establecimiento de entregables, por lo que estos porcentajes deberían de estar igualados.

Analizando en detalle se observa que todavía hay diferencia entre el número de licitaciones que requieren un uso BIM específico y las que detallan el entregable BIM asociado a ese uso. Por ejemplo, el uso de obtención de mediciones y presupuestos está definido en un 93,6% de las licitaciones que definen usos. Sin embargo, solo el 77-79% definen los entregables correspondientes a los citados usos.

El 73% de las licitaciones requiere la elaboración de un BEP y prácticamente la totalidad de estas establece el contenido, aunque el número de licitaciones que aporta una plantilla propia para desarrollarlo es muy bajo (3,2%).

#### Niveles de la Administración

El primer trimestre del 2021 muestra unos valores inferiores a los mostrados en el primer trimestre del año 2020. Destaca el incremento respecto al trimestre anterior del número de licitaciones publicadas por el nivel estatal.

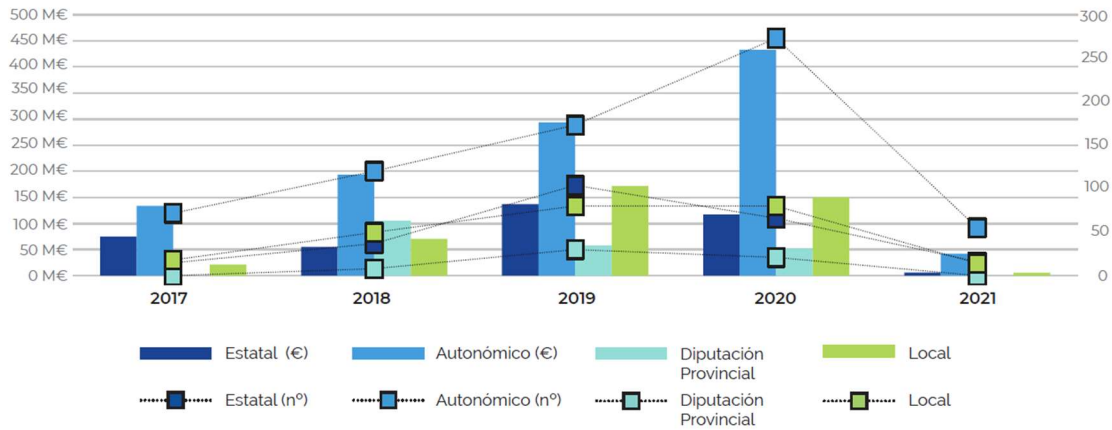


Figura 4 - Evolución de la inversión y el nº de licitaciones por niveles de la administración

Fuente: Observatorio de Licitaciones – Informe 14 es.BIM

Observando la distribución de la inversión total acumulada de las licitaciones BIM publicadas según año y nivel de administración, nos encontramos que en 2021 se mantiene la tendencia de años anteriores, siendo el nivel autonómico el que tiene un mayor porcentaje respecto del presupuesto base de licitación del total acumulado por los cuatro niveles en ese año.

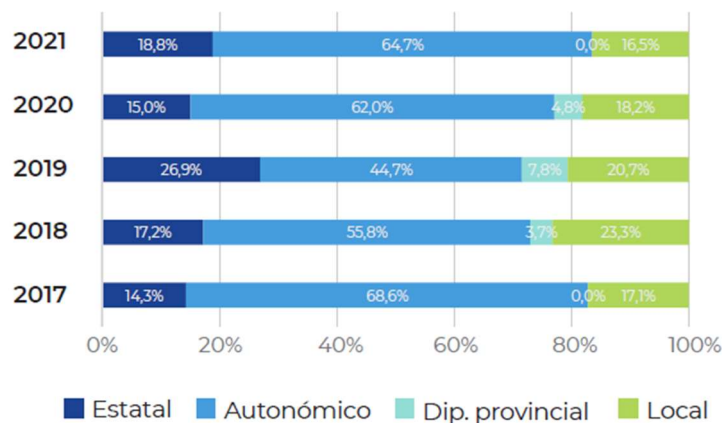


Figura 5 - Distribución de la inversión anual por niveles

Fuente: Observatorio de Licitaciones – Informe 14 es.BIM

## Distribución geográfica

En casi la totalidad de las Comunidades Autónomas se ha licitado algún contrato con requisitos BIM, destacando de manera considerable Cataluña con un total de 52 licitaciones por un valor de 34,01 millones de euros.



Figura 6 - Licitaciones de 2020 agrupadas por comunidades

Fuente: Observatorio de Licitaciones – Informe 14 es.BIM

## Evolución de indicadores

- Valoración BIM en las ofertas

Se mantiene la tendencia de requerir el uso de la metodología BIM de manera obligatoria, siendo su uso obligado en el 81% de las licitaciones con requisitos BIM.

Actualmente en la mayoría de las licitaciones (60%) los aspectos BIM son valorables en la oferta, y se aprecia que no existen licitaciones en las que se establezca como una mejora.

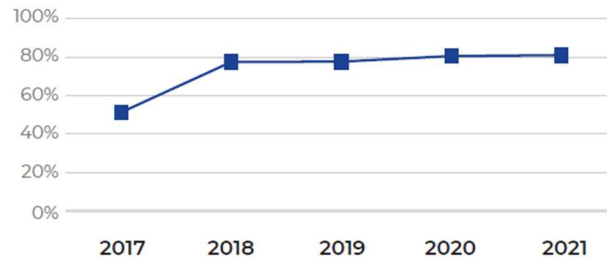


Figura 7 - Evolución de la obligatoriedad de BIM

Fuente: Observatorio de Licitaciones – Informe 14 es.BIM

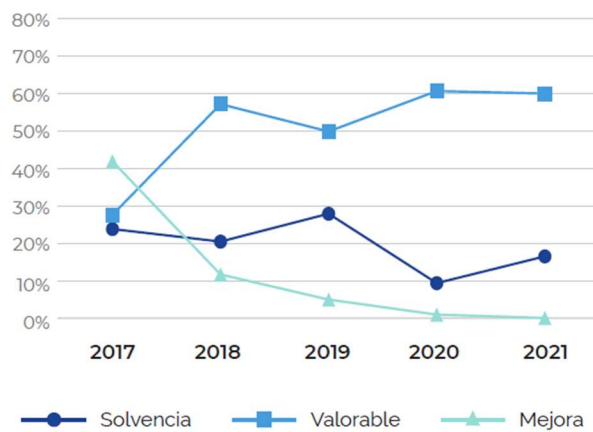


Figura 8 - Evolución de la valoración de BIM

Fuente: Observatorio de Licitaciones – Informe 14 es.BIM

#### - Evolución de los requisitos BIM

En la evolución de los requisitos BIM exigidos se puede observar que los valores de los indicadores registrados se mantienen similares a los del año 2021. Se aprecia también una evolución muy positiva de estos valores desde 2017.

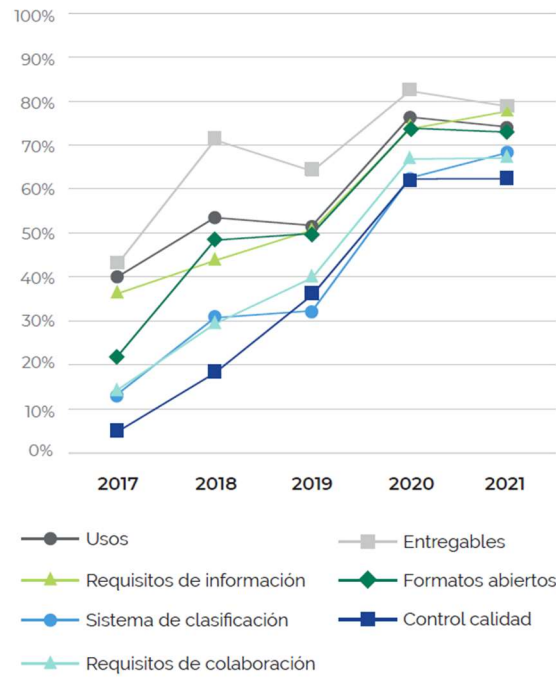


Figura 9 - Evolución de los requisitos BIM exigidos

Fuente: Observatorio de Licitaciones – Informe 14 es.BIM

#### - Evolución de usos y entregables

En 2021 se mantienen los valores obtenidos en 2020, destacando, el aumentando del número de licitaciones que requieren el uso simulación constructiva.

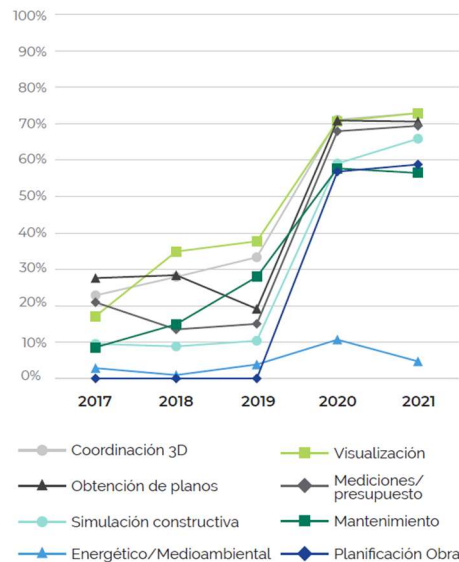


Figura 10 - Evolución de los usos BIM

Fuente: Observatorio de Licitaciones – Informe 14 es.BIM



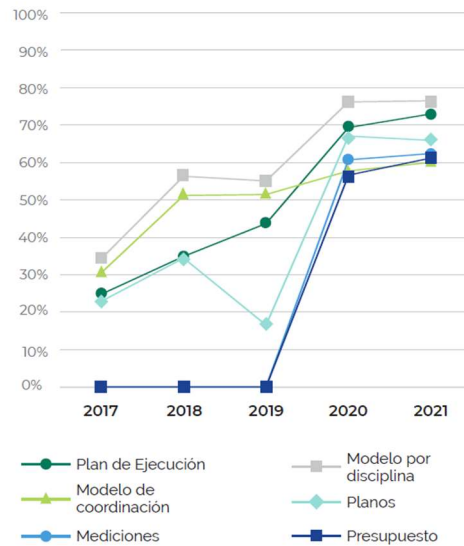


Figura 11 - Evolución de los entregables BIM requeridos

Fuente: Observatorio de Licitaciones – Informe 14 es.BIM

### Comparativa del sector de la edificación con el de las infraestructuras

En el primer trimestre del 2021, el 78,3% de las licitaciones del sector de las infraestructuras son impulsadas por el nivel Autonómico, mientras que en el de edificación es un 48,3%.

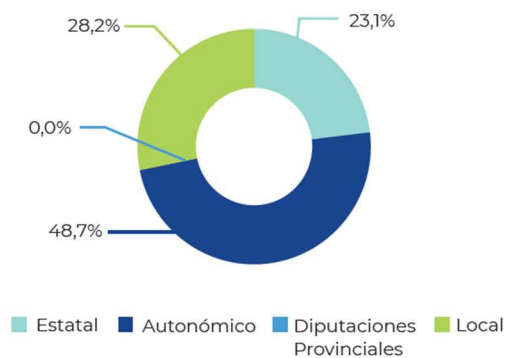
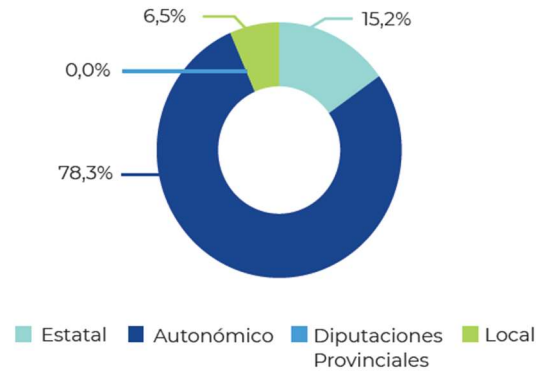


Figura 12 - Distribución del nº de licitaciones del trimestre por niveles de administración en edificación

Fuente: Observatorio de Licitaciones – Informe 14 es.BIM



*Figura 13 - Distribución del nº de licitaciones del trimestre por niveles de administración en infraestructuras*

*Fuente: Observatorio de Licitaciones – Informe 14 es.BIM*

En el primer trimestre del 2021 aumenta respecto al trimestre anterior, el número de licitaciones de carreteras en el sector de las infraestructuras. En cuanto a la inversión, en el primer trimestre del 2021 destaca el desplome de la inversión total acumulada en edificaciones de tipología administrativa.

#### - Evolución de los requisitos BIM por sectores

En 2021 es en el sector de las Infraestructuras donde se obtienen mejores resultados de los indicadores relativos a datos cualitativos BIM, mejorando los valores respecto al año anterior. Por lo contrario, en edificación los valores de estos indicadores disminuyen en 2021.

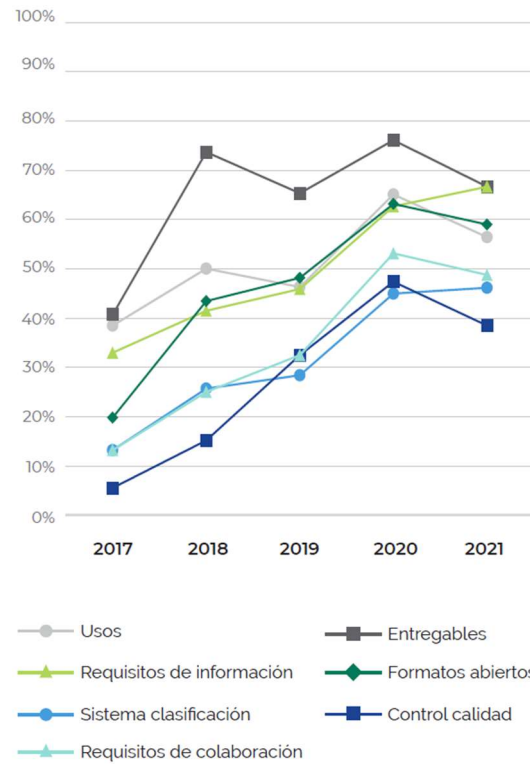


Figura 14 - Evolución de los requisitos BIM en edificación

Fuente: Observatorio de Licitaciones – Informe 14 es.BIM

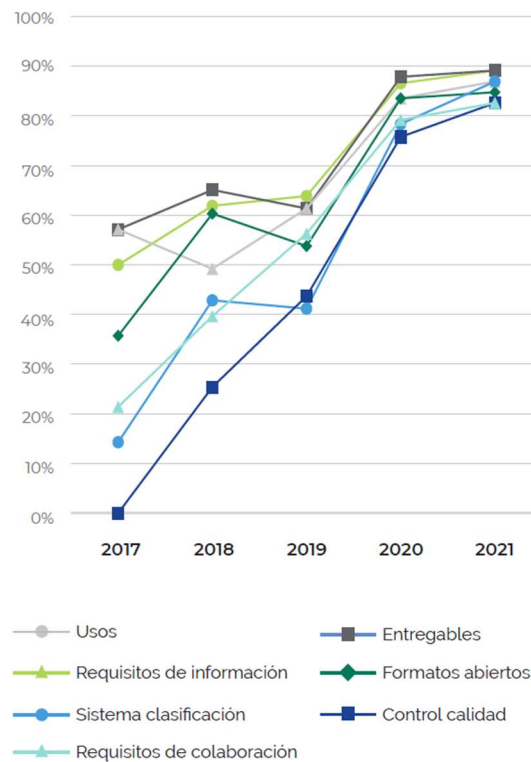


Figura 15 - Evolución de los requisitos BIM en infraestructuras

Fuente: Observatorio de Licitaciones – Informe 14 es.BIM

### 3.1.8. BIM en carreteras

Los proyectos de carreteras en la actualidad se basan en su mayoría en métodos 2D anticuados para el diseño, comprobación y transferencia de información, dejando la generación de modelos 3D exclusivamente con la función de visualización del diseño. Esto provoca ineficiencias en las empresas y las diferentes instituciones que lideran y se encargan de gestionar este tipo de infraestructuras.

Con la introducción de la metodología BIM se intenta mejorar en el diseño y la gestión de carreteras. En muchos países que trabajan en avanzar en este ámbito es fácil encontrar formatos estandarizados que originalmente se realizaron para su aplicación en el ámbito de la arquitectura.

En carreteras para que exista uniformidad, coherencia, mayor comprensión de la información y versatilidad en la gestión, es necesario que la información relativa a los siguientes aspectos se encuentre organizada y clasificada:

- Cartografía.
- Información lineal del trazado.
- Secciones tipo.
- Puentes, estructuras, muros y túneles.
- Medio ambiente.
- Drenaje.
- Geotecnia y tratamientos del terreno.
- Planificación de obra.
- Servicios afectados.
- Entre otros.

#### 3.1.8.1. Modelado 3D

La generación de un modelo 3D proporciona un sinnúmero de ventajas favoreciendo principalmente a la visualización, comprensión, comunicación, coordinación de los elementos e integración en el entorno de la infraestructura.

Además, el modelo nos permite detectar colisiones, incongruencias y validación eficaz de las soluciones adoptadas.

### 3.1.8.2. Software

El software para este tipo de infraestructuras requiere de:

- Visualización 3D.
- Generación de planos.
- Coordinación entre diferentes modelos.
- Detección de colisiones.
- Comprobación de normativas.
- Visualización 4D: programación de obra y verificación de su avance.
- Generación de mediciones y coste final.
- Interoperabilidad: intercambio de información entre diferentes aplicaciones.
- Comparación del diseño frente a la construcción.
- Uso del modelo en fase de explotación y mantenimiento.
- Incorporación de datos iniciales (datos GIS, información sobre el estado actual, etc.).

### 3.1.8.3. Dificultades

Desde el punto de vista de las empresas, las principales dificultades recaen en la inversión inicial, la escasa productividad inicial que corresponde al tiempo de aprendizaje y la necesidad de adaptación de procesos.

A parte de las dificultades que se encuentran en las empresas, existen algunos condicionantes externos:

- Sistema de contratación: el empleo de la metodología BIM implica mayor peso del proyecto en el coste total.
- Propiedades de la información y responsabilidades dentro del modelo.
- Falta de modelos y estándares.
- Escasos avances en softwares.

El principal problema de la evolución BIM en carreteras es debido a la falta de estandarización de los modelos y archivos de salida, de forma que sean compatibles entre todos los softwares que hay disponibles y que van evolucionando.

En el mercado actual existe una variedad de softwares, sin embargo, ninguno o muy pocos reúnen los requisitos para realizar un modelo BIM.

#### 3.1.8.4. RoadBIM

RoadBIM es un proyecto innovador de investigación que ha sido desarrollado con la colaboración económica del Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER). En el proyecto participan como socios; SACYR, TYPESA, APLITOP y APOGEA, y como Organismos Públicos de Investigación el Grupo de Investigación de Ingeniería de Carreteras (GIIC) y la Universidad Politécnica de Valencia

El objetivo del proyecto es lograr un desarrollo más eficiente de los proyectos constructivos y de la gestión de las carreteras durante todo su ciclo de vida útil empleando la metodología BIN en los procesos de gestión de la información. El objetivo que se plantea se logra a través del diseño, desarrollo y validación de diversos softwares que son aplicables en las diferentes etapas del ciclo de vida de una carretera.

RoadBIM más concretamente busca:

- Diseñar y desarrollar un formato para el intercambio de información que garantice la comunicación bidireccional con cualquier software de diseño, análisis y gestión, con un uso estándar abierto para permitir que todos los agentes puedan acceder a la información.

Estos formatos abiertos son:

- IFC Road: proyecto gestionado por el buildingSMART International que pretende desarrollar una extensión del estándar IFC de forma que se pueda emplear para el intercambio de datos en proyectos de carreteras en cualquier país.
- IFC Alignment: crea definiciones comunes para ejes en planta y alzado que se emplean en proyectos de obras lineales, como carreteras, ferrocarriles y túneles.
- Implementar en el modelo normativas de carreteras. Teniendo en cuenta las especificaciones de diseño geométrico y de secciones de firme, se busca la interpretación de normativas de forma ágil, sencilla y directa, para poder definir los elementos de una infraestructura de carreteras.

Para ello, es necesario analizar todos los preceptos normativos, analizar y jerarquizar los controles y sus tolerancias, identificar las posibles excepciones y facilitar los fundamentos para su justificación.

- Incorporar en el modelo el análisis de variables de la seguridad vial para permitir su interrelación automática con el resto de las variables implicadas en el diseño de carreteras, tales como:
  - Análisis y desarrollo de perfiles de velocidad de operación.
  - Análisis y desarrollo de consistencia del diseño geométrico.
  - Análisis y desarrollo de visibilidades disponibles y necesarias.
  - Utilización del simulador de conducción para auditorías de seguridad vial.
- Desarrollar aplicaciones BIM para el análisis de la sostenibilidad e integración de aspectos ambientales.
- Validar y mejorar las aplicaciones BIM desarrolladas para la versión final.

#### 3.1.8.5. Verificación de normativas con BIM

Los proyectos de carreteras actualmente abordan el diseño geométrico mediante la modelización 2D de planta, alzado y sección transversal. A la hora de emplear este formato la verificación es una tarea que resulta compleja debido a la pérdida de control y la transferencia de información, y es propensa a que se pueden producir errores.

Para que se puede realizar la comprobación de las normativas de forma automática se requiere del empleo de formatos estándares de intercambio de datos, pero la falta de este es la causante del avance lento que existe. A esto hay que sumarle que en muchas ocasiones las normas no pueden ser interpretadas y son muy difíciles de automatizar, por lo que requieren de la interpretación de un humano.

En la actualidad existen softwares (Istram, Clip, Inroads, Civil 3D o MDT) que son capaces de verificar normativa, pero trabajan en un formato propio. El desarrollo de un formato estándar supondría un avance importante.

### 3.2. Estudio del tráfico

Para un correcto análisis de las características de circulación de una carretera y la influencia que ejerce el trazado de esta, se realizan los estudios de tráfico, los cuales determinan y relacionan distintas variables para la correcta caracterización.

Conocer la cantidad de tráfico que circular por los elementos viarios es fundamental para su dimensionamiento y gestión. Se pueden determinar diferentes características del tráfico, siendo la más importante la intensidad.

### 3.2.1. Intensidad

La medición de la intensidad se realiza por medio de aforos en una sección determinada de la calle o carretera. La planificación y realización de aforos va encaminada a obtener la intensidad media diaria, IMD, de cada uno de los tramos que conforman una red viaria.

Los aforos se pueden clasificar en función a:

- La temporalidad o duración del aforo:
  - Aforo puntual: con una duración entre una hora y un día.
  - Aforo temporal: con una duración entre un día y una semana. Puede llegar a un mes.
  - Aforo permanente: con una duración mínima de un año.
- La forma de realizarlo:
  - Aforo manual: son los más costosos, pero los más fiables, tienen la ventaja de distinguir entre diferentes tipos de vehículos.
  - Aforos automáticos: son los más empleados, utilizan un aparato que detecta el paso del vehículo y los registra en un periodo de tiempo.

Pueden ser:

- Mecánicos: funcionan contabilizando los impulsos neumáticos producidos en una membrana accionada al paso de los ejes de los vehículos sobre un tubo de goma de neopreno atravesado en la carretera. Se conocen como aforador de latiguillos.
- Electrónicos: admiten como elementos de detección bucles de inducción magnética o espiras, que consisten en un cable introducido en una roza rectangular realizada en el pavimento al



que se suministra corriente, produciendo un campo magnético alrededor que, con el paso del vehículo, cuyo chasis es metálico, se perturba, cambiando el voltaje y la intensidad.

- Ultrasónicos: funcionan contabilizando los cortes en un haz sonoro de baja frecuencia al paso de los vehículos.
  - Radares.
  - Cámaras.
- El Plan de Aforos que se desarrolle:
    - Estación Permanente: realiza un aforo continuo por medio de aparatos electrónicos.
    - Estación de Control: tiene por objeto la detección de las variaciones diarias, semanales y anuales que se producen en la intensidad del tráfico.
- Se pueden clasificar en:
- Estaciones de Control Primaria: aforos durante una semana completa y al menos un periodo de 4 días que incluya dos laborables, un sábado y un domingo, con un intervalo de repetición de uno o dos meses.
  - Estaciones de Control Secundaria: Suele aforarse un día laborable completo cada dos meses.
  - Estación de Cobertura: su finalidad es la estimación de la IMD a partir de un único aforo anual como mínimo y de duración no superior a las 24 horas, siendo recomendable realizar dos aforos anuales.

### 3.2.2. Prognosis del tráfico

Para el diseño y dimensionamiento de todos los elementos de una carretera resulta necesario conocer el tráfico que debe soportar. Para ello, es necesario estimar el mismo, mediante una prognosis del tráfico, para los siguientes años:

- Año de puesta en servicio: año para cuyo tráfico debe ser dimensionado el firme de la carretera.
- Año horizonte: año para cuyo tráfico previsible debe ser proyectada la carretera.

La estimación de la demanda de tráfico posee dos escalas muy diferenciadas:

- **Análisis a corto plazo:** se pueden emplear métodos matemáticos para determinar el tráfico del año de puesta en servicio.
- **Análisis a largo plazo:** se emplea para calcular el tráfico en el año horizonte. La metodología es compleja debido a que la demanda de tráfico depende de un gran número de factores, muchos de ellos independientes de la red de carreteras, tales como:
  - Nivel de desarrollo económico.
  - Localización de las distintas actividades industriales y/o comerciales.
  - Política llevada a cabo con otros medios de transporte.
  - Desarrollos urbanísticos propuestos.

Para realizar una previsión correcta del tráfico en la carretera hay que disponer de proyecciones precisas de todos los factores que intervienen. En muchos casos, es prácticamente imposible obtener la información necesaria. Además, las propias acciones que se emprendan en la vía pueden influir sobre estas y otras variables, complicando aún más la previsión.

Debido a la complejidad que presenta la obtención de la demanda de tráfico en el año horizonte mediante un análisis a largo plazo, la demanda en el año de puesta en servicio y horizonte en muchos casos se calcula a través de un análisis del tráfico a corto plazo.

#### 3.2.2.1. Análisis a corto plazo

Para el análisis a corto plazo, se parte de un registro de IMD's de años anteriores.

La tasa evolutiva de la IMD se define como el porcentaje con respecto al año anterior, según la fórmula:

$$T = \frac{V_{a+1} - V_a}{V_a} \cdot 100$$

en donde:

- |           |   |
|-----------|---|
| $T$       | Tasa a determinar. Unidades: [-].                       |
| $V_a$     | Valor de la IMD del año anterior. Unidades: [veh/d]     |
| $V_{a+1}$ | Valor de la IMD del año considerado. Unidades: [veh/d]. |

La tasa evolutiva acumulada se determina mediante la fórmula:

$$T_a = \left( \sqrt[n]{\frac{V_{a+1}}{V_i}} - 1 \right) \cdot 100$$

en donde:

- $T_a$  Tasa evolutiva acumulada a determinar en el año considerado. Unidades: [-].
- $n$  Diferencia entre el año considerado y el inicial del estudio. Unidades: [años].
- $V_{a+1}$  Valor de la IMD en el año considerado. Unidades: [veh/d]
- $V_i$  Valor de la IMD en el año inicial del estudio. Unidades: [veh/d].

Siendo, la tasa de crecimiento anual,  $a$ , la determinada como tasa evolutiva acumulada para el último año de estudio. Con la tasa de crecimiento anual, se estima el tráfico para distintos periodos de proyectos o años, con la fórmula:

$$V_F = V_I \cdot (1 + a)^n$$

en donde:

- $V_F$  Valor futuro de la IMD en el año considerado. Unidades: [veh/d].
- $V_I$  Valor de la IMD en el último año del estudio. Unidades: [veh/d]
- $a$  Tasa de crecimiento anual de la IMD. Unidades: [-].
- $n$  Diferencia entre el año considerado y el último año del estudio. Unidades: [años].

### 3.2.3. Matriz origen-destino

La obtención de la matriz origen-destino es la forma más habitual para la representación de la demanda de tráfico. Para determinar la demanda en el nudo se parten de los aforos direccionales.

En intersección de tres patas (A, B y C) que resultan equitativamente relevantes se aforan los dos sentidos de cada pata. A continuación, se muestra cómo se obtiene la demanda de tráfico en este tipo de intersecciones.

Cada valor medido se nombra como  $I_{i+}$  o  $I_{i-}$ , según el sentido:

- +: va en sentido del nudo.
- -: se aleja del sentido del nudo.

	A	B	C	$\Sigma$
A		$I_{AB}$	$I_{AC}$	$I_{A+}$
B	$I_{BA}$		$I_{BC}$	$I_{B+}$
C	$I_{CA}$	$I_{CB}$		$I_{C+}$
$\Sigma$	$I_{A-}$	$I_{B-}$	$I_{C-}$	

Tabla 1 - Matriz con valores conocidos e incógnitas

Fuente: HCM

A continuación, se muestra el planteamiento de ecuaciones que nos permite dar solución a la matriz.

$$\begin{pmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} I_{AB} \\ I_{AC} \\ I_{BA} \\ I_{BC} \\ I_{CA} \\ I_{CB} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} I_{A+} \\ I_{B+} \\ I_{C+} \\ I_{A-} \\ I_{B-} \\ I_{C-} \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} I_{AB} \\ I_{AC} \\ I_{BA} \\ I_{BC} \\ I_{CA} \\ I_{CB} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} I_{A+} \\ I_{B+} \\ I_{C+} \\ I_{A-} - I_{B+} + I_{C-} + I_{B-} - I_{A+} \\ I_{B-} - I_{A+} \\ I_{C-} + I_{B-} - I_{A+} \end{pmatrix}$$

El sistema solo puede ser compatible si se cumple:

$$I_{A+} + I_{B+} + I_{C+} = I_{A-} + I_{B-} + I_{C-}$$

Retirando la ecuación redundante, queda:

$$\begin{pmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} I_{AB} \\ I_{AC} \\ I_{BA} \\ I_{BC} \\ I_{CA} \\ I_{CB} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} I_{A+} \\ I_{B+} \\ I_{C+} \\ I_{A-} - I_{B+} + I_{C-} + I_{B-} - I_{A+} \\ I_{B-} - I_{A+} \\ I_{C-} + I_{B-} - I_{A+} \end{pmatrix}$$

### Sistema compatible indeterminado

$$I_{CB} = \lambda$$

$$I_{CA} = -\lambda + I_{C^+}$$

$$I_{BC} = -\lambda + I_{C^-} + I_{B^-} - I_{A^+}$$

$$I_{AC} = \lambda - I_{B^-} + I_{A^+}$$

$$I_{BA} = \lambda - I_{C^-} - I_{B^-} + I_{A^+} + I_{B^+}$$

$$I_{AB} = -\lambda + I_{B^-}$$

	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	$\Sigma$
<b>A</b>		$-\lambda + I_{B^-}$	$\lambda - I_{B^-} + I_{A^+}$	$I_{A^+}$
<b>B</b>	$\lambda - I_{C^-} - I_{B^-} + I_{A^+} + I_{B^+}$		$-\lambda + I_{C^-} + I_{B^-} - I_{A^+}$	$I_{B^+}$
<b>C</b>	$-\lambda + I_{C^+}$	$\lambda$		$I_{C^+}$
$\Sigma$	$I_{A^-}$	$I_{B^-}$	$I_{C^-}$	

Tabla 2 - Resolución de la Matriz origen-destino

Fuente: HCM

### 3.2.4. Capacidad y Niveles de Servicio

A la hora de proyectar una carretera hay que tener en cuenta dos aspectos fundamentales, que va a ofrecer la infraestructura al usuario de esta y que están profundamente relacionados, que son la funcionalidad y calidad.

Relacionado con el primer aspecto, se tiene el concepto capacidad, el cual se define como el número máximo de vehículos que atraviesan una sección de carretera, durante un periodo dado de tiempo, en unas condiciones determinadas de la infraestructura y del tráfico.

Relacionado con el segundo, se posee el concepto de nivel de servicio, que evalúa la calidad de una condición de circulación, que tiene en cuenta varios factores como la velocidad, el tiempo de recorrido, la seguridad, la comodidad y costes de funcionamiento.

Para determinar la capacidad y los niveles de servicio se suele emplear el Manual de Capacidad de Carreteras HCM (por sus siglas en inglés, Highway Capacity Manual) el cuál proporciona un sistema consistente de técnicas que nos permiten su evaluación.

En el Manual se distinguen seis niveles de servicio, enumerados de la A a la F, en orden decreciente de calidad. Estos seis niveles de servicio son:

- Nivel de Servicio A:
  - La velocidad de los vehículos es la que eligen sus conductores.
  - Cuando un vehículo alcanza a otro puede adelantar sin sufrir demora.
  - Las condiciones de circulación son libre y fluida.
  - El espaciamiento medio entre vehículos es de unos 160 m.
- Nivel de Servicio B:
  - La velocidad de los vehículos más rápidos se ve influenciada por otros vehículos.
  - Pequeñas demoras en ciertos tramos, aunque sin llegar a formarse colas.
  - Circulación estable a alta velocidad.
  - El espaciamiento medio entre vehículos es de unos 100 m.
- Nivel de Servicio C:
  - La velocidad y la libertad de maniobra se hallan más reducidas, formándose grupos de vehículos.
  - Aumento de demoras de adelantamiento.
  - Formación de colas poco consistentes.
  - Nivel de circulación estable.
  - El espaciamiento medio mínimo es de 67 m.
- Nivel de Servicio D:
  - Velocidad reducida y regulada en función de los vehículos precedentes.
  - Formación de colas en puntos localizados.
  - Dificultad para efectuar adelantamientos.
  - Condiciones inestables de circulación.
- Nivel de Servicio E:
  - Velocidad reducida y uniforme para todos los vehículos, del orden de 40 - 50 km/h.
  - Formación de largas colas de vehículos.

- Imposible efectuar adelantamientos.
  - Define la capacidad de una carretera.
- Nivel de Servicio F:
- Formación de largas y densas colas.
  - Circulación intermitente mediante parones y arrancadas sucesivas.
  - La circulación se realiza de forma forzada

En los siguientes apartados se desarrolla como se obtienen tanto la capacidad como los niveles de servicio de los elementos involucrados.

#### 3.2.4.1. Intersección en T

Para la obtención de las intensidades referentes para el cálculo de la capacidad y niveles de servicio, se escogen las intensidades que corresponden al máximo valor del sumatorio de todos los movimientos.

En el método es esencial establecer el orden de los movimientos, es decir, indicar el orden de cesión de paso.

T-Intersection

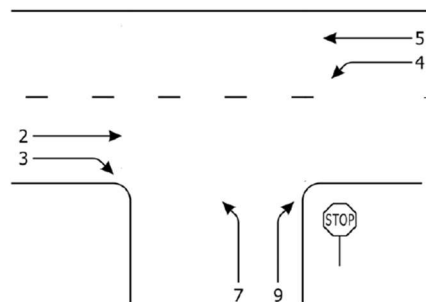


Figura 16 - Movimientos de la intersección

Fuente: HCM

Y se establecen para los movimientos los siguientes rangos:

- Movimientos de Rango 1: no ceden el paso a ningún otro movimiento.

#### T-Intersection

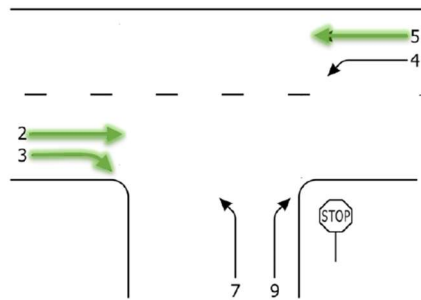


Figura 17 - Movimientos de Rango 1

Fuente: HCM

- Movimientos de Rango 2: ceden el paso a los movimientos de Rango 1.

#### T-Intersection

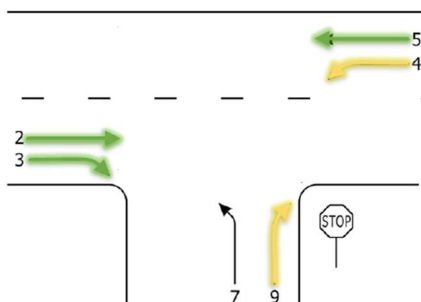
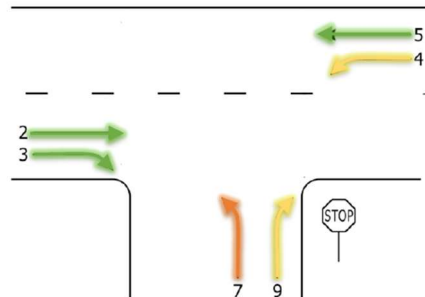


Figura 18 - Movimientos de Rango 1 y 2

Fuente: HCM



- ### T-Intersection



*Fuente: HCM*

### Paso 1: Determinación de los flujos de conflicto

- $$v_{c,4} = v_2 + v_3$$

- $$v_{c,9} = v_2 + 0.5 \cdot v_3$$

- $$v_{c,I,7} = v_2 + 0.5 \cdot v_3$$

$$v_{c,II,7} = 2 \cdot v_4 + v_5$$

$v_2$	Intensidad del Movimiento 2. Unidades: [veh/h].
$v_3$	Intensidad del Movimiento 3. Unidades: [veh/h].
$v_4$	Intensidad del Movimiento 4. Unidades: [veh/h].
$v_5$	Intensidad del Movimiento 5. Unidades: [veh/h].

Página | 60

$$t_{c,x} = t_{c,base} + P_{HV} + t_{c,G} \cdot G - t_{3,LT}$$

en donde:

Movimiento	$t_{c,base}$	$t_{c,G}$
Giro a izquierdas desde principal	4.1	
Giro a derechas desde secundaria	6.2	0.1
Giro a izquierdas desde secundaria (1 fase)	6.5	0.2
Giro a izquierdas desde secundaria (I)	5.5	0.2
Giro a izquierdas desde secundaria (II)	5.5	0.2

Tabla 3 - Determinación del hueco crítico

Fuente: HCM

$P_{HV}$  Proporción de vehículos pesados. Unidades: [tanto por uno].

$G$  Pendiente de aproximación. Unidades: [%].

$t_{3,LT}$  0.7 para giro a izquierdas desde secundaria, 0.0 el resto. Unidades: [-].

### Paso 3: Determinación del tiempo complementario

El tiempo complementario se define como el tiempo que transcurre desde que sale un vehículo hasta que sale el siguiente y se calcula con la siguiente formula:

$$t_{f,x} = t_{f,base} + 0.9 \cdot P_{HV}$$

en donde:

Movimiento	$t_{f,base}$
Giro a izquierdas desde principal	2.2
Giro a derechas desde secundaria	3.3
Giro a izquierdas desde secundaria	3.5

Tabla 4 - Determinación del tiempo complementario

Fuente: HCM

$P_{HV}$  Proporción de vehículos pesados. Unidades: [tanto por uno].

### Paso 4: Capacidad potencial

Se define capacidad potencial como la máxima intensidad que puede absorber un movimiento en función de los movimientos conflictivos, huecos y tiempos complementarios

$$c_{p,x} = v_{c,x} \cdot \frac{e^{\frac{-v_{c,x} \cdot t_{c,x}}{3600}}}{1 - e^{\frac{-v_{c,x} \cdot t_{f,x}}{3600}}}$$

en donde:

- $v_{c,x}$  Intensidad correspondiente al flujo de conflicto. Unidades: [veh/h].
- $t_{c,x}$  Hueco crítico. Unidades: [s].
- $t_{f,x}$  Tiempo complementario. Unidades: [s].

### Paso 5: Capacidad real

- Movimientos de Rango 2

Los movimientos considerados en intersecciones de tres patas sin cambios de sentido igualan la capacidad real a la potencial:

$$c_{m,x} = c_{p,x}$$

Probabilidad de que el giro a izquierdas desde la principal no esté en cola:

$$p_{0,x} = 1 - \frac{v_x}{c_{m,x}}$$

- Movimientos de Rango 3 (un paso)

La capacidad real es igual a la capacidad potencial reducida por el factor de probabilidad de operar sin cola de los movimientos de Rango 2 que le afecten.

$$c_{m,x} = p_{0,j} \cdot c_{p,x}$$

En esta expresión j es el movimiento 4 (giro a izquierdas desde la principal), y x son los movimientos de rango 3. Además, la expresión es una simplificación del caso general que incluye cambios de sentido e intersecciones en cruz.

- Movimientos de Rango 3 (dos pasos)

Se debe calcular previamente la capacidad para un paso ( $c_{m,x}$ ), así como la capacidad para los pasos I y II por separado. En este último caso el factor  $p_{0,j}$  afecta únicamente al paso que corresponda.

Posteriormente se realiza el ajuste con las siguientes expresiones:

$$a = 1 - 0.32 \cdot e^{-1.3 \cdot \sqrt{n_m}}$$

$$y = \frac{c_I - c_{m,x}}{c_{II} - v_4 - c_{m,x}}$$

Si  $y \neq 1$ :

$$c_T = \frac{a}{y^{n_m+1} - 1} \cdot (y \cdot (y^{n_m} - 1) \cdot (c_{II} - v_4) + (y - 1) \cdot c_{m,x})$$

Si  $y = 1$ :

$$c_T = \frac{a}{n_m + 1} \cdot (n_m \cdot (c_{II} - v_4) + c_{m,x})$$

en donde:

$n_m$  Número de vehículos que caben en la mediana. Unidades: [ud].

- Carril compartido

En el caso de que un carril comparta dos movimientos, debe determinarse la capacidad conjunta del siguiente modo:

$$c_{SH} = \frac{\sum_y v_y}{\sum_y \frac{v_y}{c_{m,y}}}$$

Siendo  $y$  cada uno de los movimientos compartidos

#### Paso 6: Demora

La demora se define como el tiempo desde que se llega a un carril y se realiza el movimiento deseado. Viene determinada por la siguiente expresión:

$$d = \frac{3600}{c_{m,x}} + 225 \cdot \left( \frac{v_x}{c_{m,x}} - 1 + \sqrt{\left( \frac{v_x}{c_{m,x}} - 1 \right)^2 + \frac{\frac{3600}{c_{m,x}} \cdot \frac{v_x}{c_{m,x}}}{112.5}} \right) + 5$$

En los movimientos compartidos, tanto el volumen como la demora se toman para los carriles incidentes.

#### Paso 7: Niveles de servicio

Los niveles de servicio vienen determinados en función de la demora:

$d < 10$	A
$10 \leq d < 15$	B
$15 \leq d < 25$	C
$25 \leq d < 35$	D
$35 \leq d < 50$	E
$d \geq 50$	F

Tabla 5 - Niveles de servicio intersección en T

Fuente: HCM

### Paso 8: Formación de colas

La formación de colas se calcula a partir del percentil 95 de colas formadas para cada pata mediante la siguiente expresión:

$$Q_{95} = 225 \cdot \frac{c_{m,x}}{3600} \cdot \left( \frac{v_x}{c_{m,x}} - 1 + \sqrt{\left( \frac{v_x}{c_{m,x}} - 1 \right)^2 + \frac{3600}{c_{m,x}} \cdot \frac{v_x}{c_{m,x}}} \right)$$

#### 3.2.4.2. Glorietas

Para determinar las capacidades y los niveles de servicio en glorieta hay que tener en cuenta los flujos de tráfico de las patas y del anillo que compone dicha glorieta.

En los siguientes puntos se explica el procedimiento.

#### Paso 1: Ajustar las intensidades de demanda

A través del análisis de los 15 minutos más cargados dentro de la hora punta se calcula:

$$v_i = \frac{V_i}{PHF}$$

en donde:

$v_i$  Intensidad de hora punta. Unidades: [veh/h].

$V_i$  Intensidad horaria. Unidades: [veh/h].

$PHF$  Factor de hora punta. Unidades: [-].

#### Paso 2: Ajustar el efecto de vehículos pesados

Para el ajustar el efecto de la presencia de vehículos pesado se calcula:

$$v_{i,pce} = \frac{v_i}{f_{HV}}$$

en donde:

$v_{i,pce}$  Intensidad de hora punta. Unidades: [pc/h].

$f_{HV}$  Factor de ajuste de vehículos pesados del movimiento:

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + P_T \cdot (E_T - 1)}$$

siendo:

$P_T$  Proporción de vehículos pesados. Unidades: [tanto por uno].

$E_T$  Factor de equivalencia = 2 camiones.

### Paso 3: Determinar los flujos de conflicto

Para el cálculo de los flujos de conflicto de vehículos equivalente (pc/h) hay que atender a la siguiente formulación:

$$v_{c1} = v_{2T} + v_{3T} + v_{3L}$$

$$v_{c2} = v_{1T} + v_{1T} + v_{3T}$$

$$v_{c3} = v_{2L} + v_{2T} + v_{1T}$$

en donde:

$v_{c1}$  Flujo de conflicto de la pata 1. Unidades: [pc/h].

$v_{c2}$  Flujo de conflicto de la pata 2. Unidades: [pc/h].

$v_{c3}$  Flujo de conflicto de la pata 3. Unidades: [pc/h].

$v_{3L}$  Flujo de tráfico que va desde la pata 3 a la pata 2. Unidades: [pc/h].

$v_{1T}$  Flujo de tráfico que va desde la pata 1 a la pata 3. Unidades: [pc/h].

$v_{2L}$  Flujo de tráfico que va desde la pata 2 a la pata 1. Unidades: [pc/h].

### Paso 4: Determinar la capacidad de cada acceso

La capacidad se determina según el número de carriles en el anillo atendiendo a las siguientes expresiones:

HCM 2010:

- 1 carril en el anillo

$$c_{e,pce} = 1.130 \cdot e^{-0.001 \cdot v_{c,pce}}$$

- 2 carriles en el anillo

$$c_{e,pce} = 1.130 \cdot e^{-0.0007 \cdot v_{c,pce}}$$

HCM 2016:

- 1 carril en el anillo

$$c_{e,pce} = 1.380 \cdot e^{-0.00102 \cdot v_{i,pce}}$$

- 2 carriles en el anillo

$$c_{e,pce} = 1.420 \cdot e^{-0.00085 \cdot v_{i,pce}}$$

El valor de la capacidad empleando esta fórmula es bastante inferior lo que provoca que las demoras en los accesos sean menores y los niveles de servicio sean más favorables.

#### Paso 5: Desajustar la intensidad de demanda

Hay que realizar el proceso inverso al paso 2:

- Intensidades de demanda

$$v_i = v_{i,pce} \cdot f_{HV}$$

- Capacidades

$$c_i = c_{i,pce} \cdot f_{HV}$$

en donde:

$f_{HV}$  Factor de ajuste de vehículos pesados del movimiento. Unidades: [tanto por uno].

$v_{i,pce}$  Demanda del acceso (suma de todos los movimientos). Unidades: [pc/h].

$c_{i,pce}$  Capacidad del acceso. Unidades: [pc/h].

#### Paso 6: Calcular la relación intensidad/demanda

$$x_i = \frac{v_i}{c_i}$$

en donde:

$v_i$  Intensidad del acceso. Unidades: [veh/h].

$c_i$  Capacidad del acceso. Unidades: [veh/h].

#### Paso 7: Calcular de demora por accesos

La demora media por accesos se emplea la siguiente expresión:

$$d = \frac{3600}{c_i} + 900 \cdot T \cdot \left( x - 1 + \sqrt{(x - 1)^2 + \frac{3600}{c_i} \cdot x} \right) + 5 \cdot \min(x, 1)$$

en donde:

$x$  Relación intensidad/capacidad. Unidades: [-].

$c_i$  Capacidad del acceso. Unidades: [veh/h].

$T$  Periodo de tiempo en horas (0.25 h).

### Paso 8: Niveles de servicio

Para identificar los niveles de servicio correspondientes se atiende a la siguiente tabla:

Demora media (s/veh)	Nivel de servicio según relación intensidad/capacidad	
	$\frac{x}{c} \leq 1$	$\frac{x}{c} > 1$
0 – 10	A	F
10 – 15	B	F
15 – 25	C	F
25 – 35	D	F
35 – 50	E	F
> 50	F	F

Tabla 6 - Niveles de servicio en glorietas

Fuente: HCM

### Paso 9: Calcular la demora media

El cálculo de la demora media corresponde a la media ponderada de cada uno de los accesos de la intersección:

$$d_{media} = \frac{\sum d_i \cdot v_i}{\sum v_i}$$

en donde:

$d_i$  Demora media por cada acceso. Unidades: [s/veh].

$v_i$  Intensidad del acceso. Unidades: [veh/h].

### Paso 10: Formación de colas

La formación de colas se calcula a partir del percentil 95 de colas formadas para cada pata mediante la siguiente expresión:

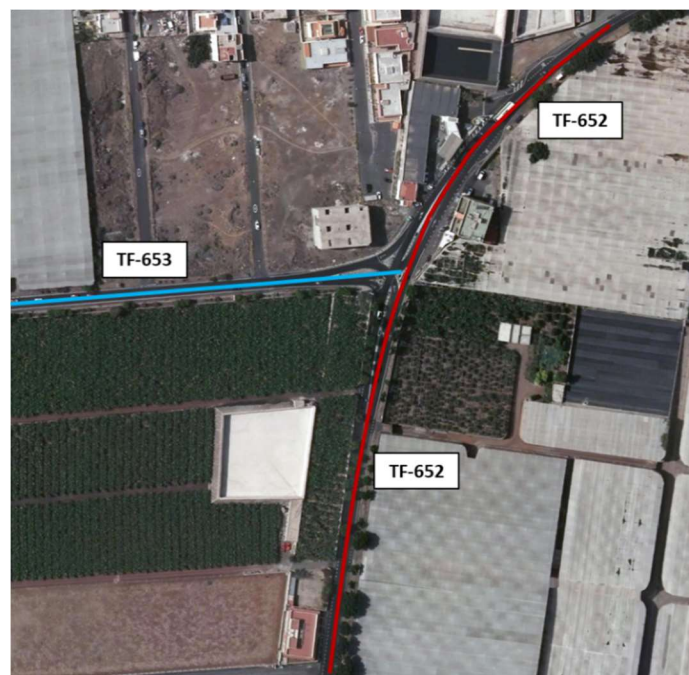


$$Q_{95} = 225 \cdot \frac{c_i}{3600} \cdot \left( x_i - 1 + \sqrt{(x_i - 1)^2 + \frac{3600}{c_i} \cdot x_i} \right)$$

## 4. Caso de estudio

### 4.1. Situación

El caso de estudio del presente documento se localiza en el término municipal de Arona en la isla de Tenerife. En el cruce de la carretera TF-652 con la carretera TF-653, se encuentra una intersección en T canalizada. Ambas carreteras poseen elevadas intensidades de tráfico y como ya se ha comentado anteriormente, debido a la geometría que presenta la intersección se dan una serie de factores que hacen necesario el rediseño.



*Figura 20 - Intersección en T*

*Fuente: Elaboración propia sobre ortofotografía aérea de Google Earth*

Esta intersección supone unos de los principales puntos negros del municipio, entendiéndose como punto negro a un tramo de la red de carreteras en el cual se producen un gran número de accidentes de tráfico al año. La categoría de punto negro la determinan las autoridades competentes, en el caso de España, La Dirección General de Tráfico.

En el *Anexo 3: Plano*, se puede observar la situación y el emplazamiento de la obra

## 4.2. Visita de campo

Con el propósito de reconocer la zona de actuación y comprobar el estado actual se realizaron varias visitas de campo. Las visitas realizadas consistieron en tres tareas bien diferenciadas:

1. Realización de un reportaje fotográfico.
2. Grabaciones de los diferentes movimientos existentes en la intersección.
3. Grabaciones del tráfico.

La realización de estas tareas ayuda a identificar los diferentes elementos existentes en la zona, a conocer los posibles problemas que se pueden encontrar, y a obtener conclusiones con respecto al tráfico que pueden ayudar en el estudio.

### 4.2.1. Reportaje fotográfico

Para tener una concepción global del estado actual de la intersección se realizó un reportaje fotográfico de la zona de actuación.

Las fotografías se realizaron en diciembre de 2020. A continuación, se muestra una ortofoto en la que se observan la localización y las orientaciones de las fotografías.



*Figura 21 - Reportaje fotográfico*

*Fuente: Elaboración propia sobre ortofotografía aérea de Google Earth*



Seguidamente se observan las fotografías correspondientes al reportaje fotográfico.



*Figura 22 - Fotografía 1*

*Fuente: Elaboración propia*



*Figura 23 - Fotografía 2*

*Fuente: Elaboración propia*





*Figura 24 - Fotografía 3*  
*Fuente: Elaboración propia*



*Figura 25 - Fotografía 4*  
*Fuente: Elaboración propia*





*Figura 26 - Fotografía 5*  
*Fuente: Elaboración propia*



*Figura 27 - Fotografía 6*  
*Fuente: Elaboración propia*



*Fuente: Elaboración propia*



*Fuente: Elaboración propia*





*Figura 30 - Fotografía 9*  
*Fuente: Elaboración propia*



*Figura 31 - Fotografía 10*  
*Fuente: Elaboración propia*



*Figura 32 - Fotografía 11*  
*Fuente: Elaboración propia*



*Figura 33 - Fotografía 12*  
*Fuente: Elaboración propia*





*Figura 34 - Fotografía 13*  
*Fuente: Elaboración propia*



*Figura 35 - Fotografía 14*  
*Fuente: Elaboración propia*



Figura 36 - Fotografía 15  
 Fuente: Elaboración propia



Figura 37 - Fotografía 16  
 Fuente: Elaboración propia





*Figura 38 - Fotografía 17*  
*Fuente: Elaboración propia*



*Figura 39 - Fotografía 18*  
*Fuente: Elaboración propia*



*Figura 40 - Fotografía 19*  
*Fuente: Elaboración propia*



*Figura 41 - Fotografía 20*  
*Fuente: Elaboración propia*





*Figura 42 - Fotografía 21*  
*Fuente: Elaboración propia*



*Figura 43 - Fotografía 22*  
*Fuente: Elaboración propia*



*Figura 44 - Fotografía 23*  
*Fuente: Elaboración propia*



*Figura 45 - Fotografía 24*  
*Fuente: Elaboración propia*





- Movimiento 2: conducción en la carretera principal sentido sur.



*Figura 47 - Captura video Movimiento 2*

*Fuente: Elaboración propia*

- Movimiento 3: giro a derechas desde la carretera principal.



*Figura 48 - Captura video Movimiento 3*

*Fuente: Elaboración propia*



- Movimiento 4: giro a izquierdas desde carril canalizado en la carretera principal a secundaria.



*Figura 49 - Captura video Movimiento 4*

*Fuente: Elaboración propia*

- Movimiento 5: conducción en la carretera principal sentido norte.



*Figura 50 - Captura video Movimiento 5*

*Fuente: Elaboración propia*

- Movimiento 7: giro a izquierdas desde la carretera secundaria con carril canalizado en la carretera principal.



*Figura 51 - Captura video Movimiento 7*

*Fuente: Elaboración propia*

- Movimiento 9: giro a derechas desde la carretera secundaria.



*Figura 52 - Captura video Movimiento 9*

*Fuente: Elaboración propia*



#### 4.2.2.2. Tráfico

Con el objetivo de conocer el flujo de tráfico, las demoras y los tiempos existentes en la intersección, se realizaron tres grabaciones de video desde un punto fijo colocado en el mismo punto.

Como criterio para la grabación, se propuso el grabar durante un mínimo de 20 minutos y en horarios diferentes. A continuación, se muestran los datos relevantes de las tres grabaciones.

##### **Grabación 1** – 17 de diciembre de 2020

- Comienzo de la grabación: 15:51:09 horas.
- Fin de la grabación: 16:21:45 horas.
- Duración: 30 minutos y 36 segundos.



*Figura 53 - Captura Grabación 1*

*Fuente: Elaboración propia*

##### **Grabación 2** – 29 de diciembre de 2020

- Comienzo de la grabación: 12:37:03 horas.
- Fin de la grabación: 13:00:07 horas.
- Duración: 23 minutos y 4 segundos.



*Figura 54 - Captura Grabación 2*

*Fuente: Elaboración propia*

### **Grabación 3 – 8 de enero de 2020**

- Comienzo: 09:47:43
- Fin: 10:16:48
- Duración: 29 minutos y 5 segundos.



*Figura 55 - Captura Grabación 3*

*Fuente: Elaboración propia*

## Conclusiones

- El tráfico es muy elevado y el diseño geométrico que posee la intersección no es capaz de abordar dicho tráfico. Los carriles de espera para realizar los giros a derechas son casi inexistentes y en momentos se saturan.
- En este tipo de intersecciones en T canalizadas a diferencia de otro tipo de intersecciones, como las glorietas, las prioridades de los vehículos no están del todo claras y en diferentes momentos de las grabaciones se observa como se producen “dudas” entre los conductores.
- El movimiento más desfavorable es el 7, giro a izquierdas desde la carretera principal. En las grabaciones se observa que se producen colas para realizar el giro y que las demoras son muy altas.
- Otro problema que se observa es el control de la velocidad. En este tipo de intersecciones no todos los vehículos que circulan están obligados a realizar detecciones. Los vehículos que realizan los movimientos 2 y 5, no se ven involucrados en el cruce y circulan directamente por la carretera principal. Esto afecta a la seguridad vial directamente ya que en muchos casos la velocidad máxima del tramo es superada.

## **4.3. Estudio del tráfico**

---

### **4.3.1. Datos de partida**

Para el cálculo de la demanda de tráfico en el caso de estudio, se parten de estaciones de cobertura que se localizan en el entorno de la intersección y de una estación permanente que resulta afín a las estaciones de cobertura.

El Cabildo de Tenerife en su Plan de Aforos realiza en las estaciones de cobertura un único aforo anual de siete días consecutivos, cinco días laborables, un sábado y un domingo consecutivos.



Año	IMD	Asc.	Desc.	Pesados	%Pesados
2000	15107			672	4,45%
2001	15124			429	2,84%
2002	15440			378	2,45%
2003	12482			309	2,48%
2004	18913			449	2,37%
2005	15796			448	2,84%
2006	16428			466	2,84%
2007	19732	10266	9466	898	4,55%
2008	17338	8965	8373	432	2,49%
2009	16191	8097	8094	437	2,70%
2010	16358	8448	7910	343	2,10%
2011	14979	7708	7271	508	3,39%
2012	15575	8044	7531	357	2,29%
2013	14630	7531	7099	663	4,53%
2014	15549	7990	7559	495	3,18%
2015	16109			379	2,35%
2016	16481			362	2,20%
2017	17651			410	2,32%
2018	17538			406	2,31%
2019	17641			463	2,62%

Tabla 8 - Datos estación de cobertura 761 Fuente: Elaboración propia

Año	IMD	Asc.	Desc.	Pesados	%Pesados
2000	10223			455	4,45%
2001	10112			286	2,83%
2002	10618			260	2,45%
2003	10426			258	2,47%
2004	12602			299	2,37%
2005	10548			299	2,83%
2006	10970			311	2,84%
2007	14521	6905	7616	757	5,21%
2008	13985			563	4,03%
2009	12732	6784	5948	566	4,45%
2010	10808	4940	5868	380	3,52%
2011	9928	4599	5329	316	3,18%
2012	10143	4560	5583	327	3,22%
2013	10551	4812	5739	397	3,76%
2014	10350	4768	5582	330	3,19%
2015	11092	5095	5997	261	2,35%
2016	11740	5340	6400	258	2,20%
2017	12466	5851	6615	266	2,13%
2018	12735	5837	6898	295	2,32%
2019	12716	5971	6745	326	2,56%

Tabla 9 - Datos estación de cobertura 763 Fuente: Elaboración propia

De las estaciones de cobertura se obtuvieron datos desde el año 2000, pero para posteriormente realizar la prognosis y obtener unas demandas más realistas se escogieron los datos de IMD desde el 2015 al 2019.

Con el propósito de conseguir más datos para realizar el estudio se escogió una estación permanente afín a las tres estaciones de cobertura. En este tipo de estaciones el aforo se realiza durante todos los días del año y 24 horas al día, utilizando aparatos automáticos con registradores horarios y sistemas de detección de velocidad, y de vehículos ligeros y pesados.

En las siguientes se pueden ver los diferentes factores y datos extraídos:

Mes	IMD	Coef. L	Coef. S
Enero	14374	0,9297	0,9233
Febrero	14251	0,9339	0,9233
Marzo	14293	0,9366	0,9233
Abril	13272	1,0152	0,9233
Mayo	12985	1,0299	0,9233
Junio	12611	1,0346	0,9233
Julio	12416	1,0945	0,9233
Agosto	12309	1,1002	0,9233
Septiembre	13023	1,01131	0,9233
Octubre	13542	0,9838	0,9233
Noviembre	14061	0,9505	0,9233
Diciembre	13467	1,0056	0,9233

*Tabla 10 - Estación permanente 773 Carretera TF-655 Los Cristianos Km 7,85 (1)*

*Fuente: Elaboración propia*



Hora	Vol. (veh.)
0:00	224
1:00	118
2:00	81
3:00	73
4:00	73
5:00	117
6:00	288
7:00	698
8:00	838
9:00	858
10:00	838
11:00	890
12:00	870
13:00	843
14:00	848
15:00	850
16:00	847
17:00	829
18:00	776
19:00	691
20:00	543
21:00	425
22:00	422
23:00	340

Tabla 11 - Estación permanente 773 Carretera TF-655 Los Cristianos Km 7,85 (2)

Fuente: Elaboración propia

#### 4.3.2. Prognosis del tráfico

La prognosis del tráfico se lleva a cabo para conocer el tráfico que debe soportar la carretera, y es necesario estimar la demanda para el año de puesta en servicio (año cuyo tráfico debe ser dimensionado el firme de la carretera y año horizonte (año para cuyo tráfico previsible debe ser proyectada la carretera).

Debido a la complejidad que presenta la obtención de la demanda de tráfico mediante un análisis a largo plazo, la demanda en el año de puesta en servicio y horizonte se ha calculado a través de un análisis del tráfico a corto plazo.

Se ha supuesto como año de puesta en servicio el 2021, con lo cual el año horizonte es el 2041. En las siguientes tablas se observan los resultados que se obtienen para cada una de las estaciones de cobertura.

Año	IMD			IMDp		
	T (%)	Ta (%)	a (%)	T (%)	Ta (%)	a (%)
2015						
2016	-0,44	-0,44		26,01	26,01	
2017	4,93	2,21		-40,04	-13,07	
2018	-1,32	1,02		-1,78	-9,46	
2019	4,48	1,87	1,87	18,73	-3,11	-3,11

Tabla 12 - Prognosis tráfico Estación 759 (1)

Fuente: Elaboración propia

Año	IMD	IMDp
2020	15232	381
<b>2021</b>	<b>15517</b>	<b>369</b>
2022	15808	358
2023	16104	347
2024	16405	336
2025	16712	326
2026	17025	315
2027	17344	306
2028	17668	296
2029	17999	287
2030	18336	278
2031	18679	269
2032	19029	261
2033	19385	253
2034	19748	245
2035	20117	237
2036	20494	230
2037	20878	223
2038	21268	216
2039	21667	209
2040	22072	203
<b>2041</b>	<b>22485</b>	<b>196</b>

Tabla 13 - Prognosis tráfico Estación 759 (2)

Fuente: Elaboración propia

Año	IMD			IMDp		
	T (%)	Ta (%)	a (%)	T (%)	Ta (%)	a (%)
2015						
2016	2,31	2,31		-4,49	-4,49	
2017	7,10	4,68		13,26	4,01	
2018	-0,64	2,87		-0,98	2,32	
2019	0,59	2,30	2,30	14,04	5,13	5,13

Tabla 14 - Prognosis tráfico Estación 761 (1)

Fuente: Elaboración propia



AÑO	IMD	IMDp
2020	13158	345
<b>2021</b>	<b>13616</b>	<b>365</b>
2022	14089	386
2023	14578	408
2024	15085	431
2025	15609	456
2026	16151	482
2027	16713	509
2028	17293	538
2029	17894	569
2030	18516	601
2031	19159	636
2032	19825	672
2033	20514	710
2034	21227	751
2035	21965	794
2036	22728	839
2037	23518	887
2038	24335	938
2039	25180	992
2040	26055	1048
<b>2041</b>	<b>26961</b>	<b>1108</b>

Tabla 17 - Prognosis tráfico Estación 763 (2)

Fuente: Elaboración propia

### 4.3.3. Matriz origen-destino

En estudios de tráfico la forma más habitual para representar la demanda de tráfico es la obtención de la matriz origen-destino. Para obtener la matriz es necesario emplear los datos de la estación permanente afín y calcular como se distribuye el tráfico los días laborables y festivos de cada estación de cobertura durante todos los meses de un año.

En las siguientes tablas se expone para el año 2041 los resultados para cada una de las estaciones:

## Estación de cobertura 759

### - Laborables

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic
0:00	380	381	382	414	420	422	447	449	413	402	388	410
1:00	200	201	202	219	222	223	236	237	218	212	205	216
2:00	138	138	139	150	152	153	162	163	150	146	141	149
3:00	124	125	125	135	137	138	146	147	135	131	127	134
4:00	124	125	125	135	137	138	146	147	135	131	127	134
5:00	198	199	200	217	220	221	234	235	216	210	203	215
6:00	488	490	491	533	540	543	574	577	531	516	499	528
7:00	1182	1187	1190	1290	1309	1315	1391	1398	1285	1250	1208	1278
8:00	1419	1425	1429	1549	1571	1579	1670	1679	1543	1501	1450	1534
9:00	1452	1459	1463	1586	1609	1616	1710	1719	1580	1537	1485	1571
10:00	1419	1425	1429	1549	1571	1579	1670	1679	1543	1501	1450	1534
11:00	1507	1513	1518	1645	1669	1676	1773	1783	1639	1594	1540	1629
12:00	1473	1479	1484	1608	1631	1639	1734	1743	1602	1558	1506	1593
13:00	1427	1433	1438	1558	1581	1588	1680	1689	1552	1510	1459	1543
14:00	1435	1442	1446	1567	1590	1597	1690	1699	1561	1519	1468	1553
15:00	1439	1445	1449	1571	1594	1601	1694	1703	1565	1523	1471	1556
16:00	1434	1440	1444	1566	1588	1595	1688	1697	1560	1517	1466	1551
17:00	1403	1410	1414	1532	1554	1562	1652	1661	1526	1485	1435	1518
18:00	1314	1320	1323	1434	1455	1462	1546	1554	1429	1390	1343	1421
19:00	1170	1175	1178	1277	1296	1302	1377	1384	1272	1238	1196	1265
20:00	919	923	926	1004	1018	1023	1082	1088	1000	973	940	994
21:00	720	723	725	786	797	801	847	852	783	762	736	778
22:00	715	718	720	780	792	795	841	846	777	756	731	773
23:00	576	578	580	629	638	641	678	681	626	609	589	623

Tabla 18 - Estación cobertura 759 laborables Fuente: Elaboración propia

### - Festivos

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
0:00	278	279	280	303	308	309	327	329	302	294	284	300
1:00	147	147	148	160	162	163	172	173	159	155	150	158
2:00	101	101	102	110	112	112	119	119	110	107	103	109
3:00	91	91	92	99	101	101	107	107	99	96	93	98
4:00	91	91	92	99	101	101	107	107	99	96	93	98
5:00	145	146	146	159	161	162	171	172	158	154	149	157
6:00	357	359	360	390	395	397	420	422	388	378	365	386
7:00	865	868	871	944	958	962	1018	1023	940	915	884	935
8:00	1038	1043	1046	1133	1150	1155	1222	1228	1129	1098	1061	1123
9:00	1063	1067	1070	1160	1177	1182	1251	1257	1156	1124	1086	1149
10:00	1038	1043	1046	1133	1150	1155	1222	1228	1129	1098	1061	1123
11:00	1102	1107	1110	1204	1221	1227	1298	1304	1199	1166	1127	1192
12:00	1077	1082	1085	1177	1194	1199	1268	1275	1172	1140	1102	1165
13:00	1044	1049	1052	1140	1157	1162	1229	1235	1136	1105	1067	1129
14:00	1050	1055	1058	1147	1163	1169	1236	1243	1142	1111	1074	1136
15:00	1053	1057	1061	1149	1166	1171	1239	1246	1145	1114	1076	1139
16:00	1049	1054	1057	1145	1162	1167	1235	1241	1141	1110	1072	1135
17:00	1027	1031	1034	1121	1137	1142	1209	1215	1117	1086	1050	1110
18:00	961	965	968	1049	1065	1069	1131	1137	1045	1017	983	1040
19:00	856	860	862	935	948	952	1008	1013	931	906	875	926
20:00	673	676	678	734	745	749	792	796	732	712	688	728
21:00	527	529	531	575	583	586	620	623	573	557	538	570
22:00	523	525	527	571	579	582	615	619	569	553	535	566
23:00	421	423	425	460	467	469	496	499	458	446	431	456

Tabla 19 - Estación cobertura 759 festivos Fuente: Elaboración propia

## Estación de cobertura 761

### - Laborables

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
0:00	491	493	494	536	543	546	578	581	534	519	502	531
1:00	259	260	261	282	287	288	304	306	281	274	264	280
2:00	178	179	179	194	197	198	209	210	193	188	182	192
3:00	160	161	161	175	177	178	189	190	174	170	164	173
4:00	160	161	161	175	177	178	189	190	174	170	164	173
5:00	257	258	258	280	284	285	302	303	279	271	262	277
6:00	631	634	635	689	699	702	742	746	686	667	645	682
7:00	1528	1535	1539	1668	1692	1700	1799	1808	1662	1617	1562	1653
8:00	1834	1842	1848	2003	2032	2041	2159	2170	1995	1941	1875	1984
9:00	1878	1886	1892	2051	2080	2090	2211	2222	2043	1987	1920	2031
10:00	1834	1842	1848	2003	2032	2041	2159	2170	1995	1941	1875	1984
11:00	1948	1957	1962	2127	2158	2168	2293	2305	2119	2061	1992	2107
12:00	1904	1913	1918	2079	2109	2119	2242	2253	2071	2015	1947	2060
13:00	1845	1853	1859	2015	2044	2053	2172	2183	2007	1952	1886	1996
14:00	1856	1864	1870	2027	2056	2065	2185	2196	2019	1964	1898	2008
15:00	1860	1869	1874	2031	2061	2070	2190	2202	2024	1969	1902	2012
16:00	1854	1862	1868	2024	2054	2063	2182	2194	2017	1962	1895	2005
17:00	1814	1823	1828	1981	2010	2019	2136	2147	1974	1920	1855	1963
18:00	1699	1706	1711	1855	1882	1890	2000	2010	1848	1797	1736	1837
19:00	1513	1519	1524	1652	1675	1683	1781	1790	1645	1601	1546	1636
20:00	1189	1194	1197	1298	1317	1323	1399	1407	1293	1258	1215	1286
21:00	930	935	937	1016	1031	1035	1095	1101	1012	985	951	1006
22:00	924	928	931	1009	1023	1028	1088	1093	1005	978	945	999
23:00	744	748	750	813	825	828	876	881	810	788	761	805

Tabla 20 - Estación cobertura 761 laborables Fuente: Elaboración propia

### - Festivos

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
0:00	359	361	362	392	398	400	423	425	391	380	367	388
1:00	189	190	191	207	210	211	223	224	206	200	194	205
2:00	130	131	131	142	144	145	153	154	142	138	133	141
3:00	117	118	118	128	130	131	138	139	128	124	120	127
4:00	117	118	118	128	130	131	138	139	128	124	120	127
5:00	188	189	189	205	208	209	221	222	204	199	192	203
6:00	462	464	465	504	511	514	543	546	502	488	472	499
7:00	1118	1123	1126	1221	1238	1244	1316	1323	1216	1183	1143	1209
8:00	1342	1348	1352	1465	1486	1493	1580	1588	1460	1420	1372	1451
9:00	1374	1380	1384	1500	1522	1529	1617	1626	1495	1454	1405	1486
10:00	1342	1348	1352	1465	1486	1493	1580	1588	1460	1420	1372	1451
11:00	1425	1432	1436	1556	1579	1586	1678	1686	1550	1508	1457	1541
12:00	1393	1399	1403	1521	1543	1550	1640	1649	1515	1474	1424	1507
13:00	1350	1356	1360	1474	1495	1502	1589	1597	1468	1428	1380	1460
14:00	1358	1364	1368	1483	1504	1511	1599	1607	1477	1437	1388	1469
15:00	1361	1367	1371	1486	1508	1515	1602	1611	1481	1440	1392	1472
16:00	1356	1362	1366	1481	1502	1509	1597	1605	1475	1435	1387	1467
17:00	1328	1334	1337	1450	1471	1477	1563	1571	1444	1405	1357	1436
18:00	1243	1248	1252	1357	1377	1383	1463	1470	1352	1315	1270	1344
19:00	1107	1112	1115	1208	1226	1231	1303	1309	1204	1171	1131	1197
20:00	870	874	876	950	963	968	1024	1029	946	920	889	941
21:00	681	684	686	743	754	758	801	806	741	720	696	736
22:00	676	679	681	738	749	752	796	800	735	715	691	731
23:00	545	547	549	595	603	606	641	645	593	576	557	589

Tabla 21 - Estación cobertura 761 festivos Fuente: Elaboración propia

## Estación de cobertura 763

### - Laborables

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
0:00	455	457	458	497	504	506	536	538	495	481	465	492
1:00	240	241	242	262	266	267	282	284	261	254	245	259
2:00	165	166	166	180	183	183	194	195	179	174	169	178
3:00	149	149	150	162	165	165	175	176	162	157	152	161
4:00	149	149	150	162	165	165	175	176	162	157	152	161
5:00	238	239	240	260	263	265	280	281	259	252	243	257
6:00	585	587	589	639	648	651	688	692	636	619	598	633
7:00	1417	1423	1427	1547	1569	1577	1668	1676	1541	1499	1448	1532
8:00	1701	1708	1713	1857	1884	1893	2002	2013	1850	1800	1739	1840
9:00	1741	1749	1754	1901	1929	1938	2050	2061	1894	1843	1780	1883
10:00	1701	1708	1713	1857	1884	1893	2002	2013	1850	1800	1739	1840
11:00	1806	1814	1820	1972	2001	2010	2126	2137	1965	1911	1847	1954
12:00	1766	1774	1779	1928	1956	1965	2079	2089	1921	1868	1805	1910
13:00	1711	1719	1724	1868	1895	1904	2014	2025	1861	1810	1749	1851
14:00	1721	1729	1734	1879	1907	1915	2026	2037	1872	1821	1760	1862
15:00	1725	1733	1738	1884	1911	1920	2031	2041	1877	1825	1764	1866
16:00	1719	1727	1732	1877	1904	1913	2024	2034	1870	1819	1758	1859
17:00	1683	1690	1695	1837	1864	1872	1981	1991	1830	1780	1720	1820
18:00	1575	1582	1587	1720	1745	1753	1854	1864	1713	1667	1610	1704
19:00	1403	1409	1413	1531	1554	1561	1651	1660	1526	1484	1434	1517
20:00	1102	1107	1110	1204	1221	1227	1298	1304	1199	1166	1127	1192
21:00	863	867	869	942	956	960	1016	1021	939	913	882	933
22:00	857	861	863	935	949	953	1009	1014	932	907	876	927
23:00	690	693	695	754	765	768	813	817	751	730	706	747

Tabla 22 - Estación cobertura 763 laborables Fuente: Elaboración propia

### - Festivos

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
0:00	333	334	335	364	369	370	392	394	362	352	340	360
1:00	176	176	177	192	195	195	207	208	191	186	180	190
2:00	121	121	122	132	134	134	142	143	131	128	123	131
3:00	109	109	110	119	121	121	128	129	118	115	111	118
4:00	109	109	110	119	121	121	128	129	118	115	111	118
5:00	174	175	175	190	193	194	205	206	189	184	178	188
6:00	428	430	431	467	474	476	504	506	466	453	438	463
7:00	1037	1041	1044	1132	1148	1153	1220	1227	1127	1097	1060	1121
8:00	1244	1250	1254	1359	1378	1385	1465	1472	1354	1317	1272	1346
9:00	1274	1280	1283	1391	1411	1418	1500	1508	1386	1348	1303	1378
10:00	1244	1250	1254	1359	1378	1385	1465	1472	1354	1317	1272	1346
11:00	1322	1328	1331	1443	1464	1471	1556	1564	1437	1398	1351	1429
12:00	1292	1298	1301	1411	1431	1438	1521	1529	1405	1367	1321	1397
13:00	1252	1257	1261	1367	1387	1393	1474	1481	1362	1325	1280	1354
14:00	1259	1265	1269	1375	1395	1401	1482	1490	1370	1332	1287	1362
15:00	1262	1268	1272	1378	1398	1405	1486	1494	1373	1336	1290	1365
16:00	1258	1263	1267	1373	1393	1400	1481	1488	1368	1331	1286	1360
17:00	1231	1237	1240	1344	1364	1370	1449	1457	1339	1303	1259	1331
18:00	1152	1158	1161	1258	1276	1282	1356	1364	1253	1219	1178	1246
19:00	1026	1031	1034	1120	1137	1142	1208	1214	1116	1086	1049	1110
20:00	806	810	812	881	893	897	949	954	877	853	825	872
21:00	631	634	636	689	699	703	743	747	687	668	645	683
22:00	627	630	632	684	694	698	738	742	682	663	641	678
23:00	505	507	509	552	560	562	595	598	549	535	516	546

Tabla 23 - Estación cobertura 763 festivos Fuente: Elaboración propia

A partir de estos cálculos y aplicando la metodología descrita para la obtención de la matriz origen-destino, se exponen en el *Anexo 1: Listados del estudio del tráfico* los resultados.

#### 4.3.4. Capacidad y Niveles de Servicio

Atendiendo a la metodología que el Manual de Capacidad de Carreteras HCM ofrece para el cálculo de capacidades y niveles de servicio, se han calculado estos para la intersección objeto de estudio.

Posteriormente a los cálculos y las diversas conclusiones obtenidas se han obtenidos las capacidades y los niveles de servicio del nuevo diseño de la intersección

##### 4.3.4.1. Intersección en T

Como ya se explicado anteriormente, el HCM distingue un orden de movimientos según el orden de cesión de paso en la intersección. Las capacidades y los niveles de servicio se obtienen para los Movimientos de Rango 2 y 3, que corresponden con los Movimientos 4, 7 y 9.

En las siguientes figuras se muestra en porcentaje los niveles de servicio que se dan a lo largo del año horizonte. Son gráficos que se basan en los niveles de servicio que se dan cada hora a lo largo del año 2041.

- Movimiento 4

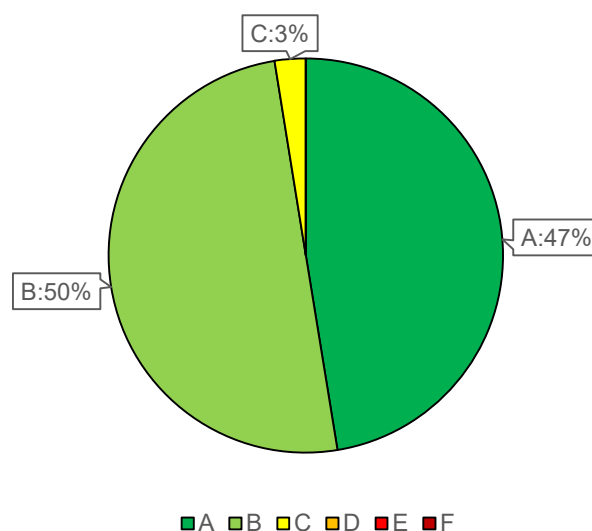


Figura 57 – NS Movimiento 4

Fuente: Elaboración propia



- Movimiento 7

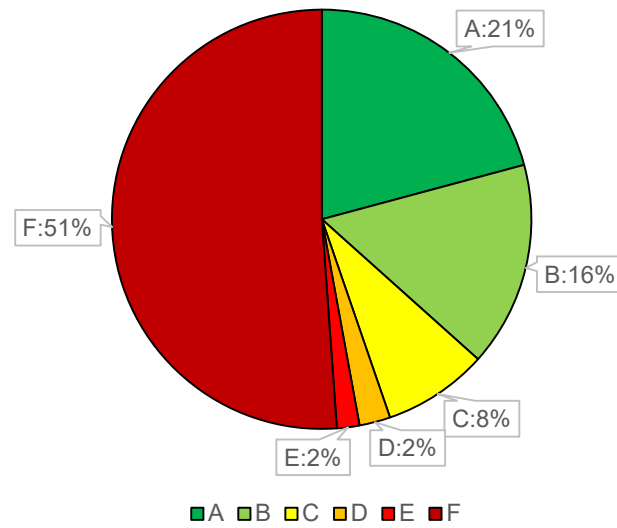


Figura 58 - NS Movimiento 7

Fuente: Elaboración propia

- Movimiento 9

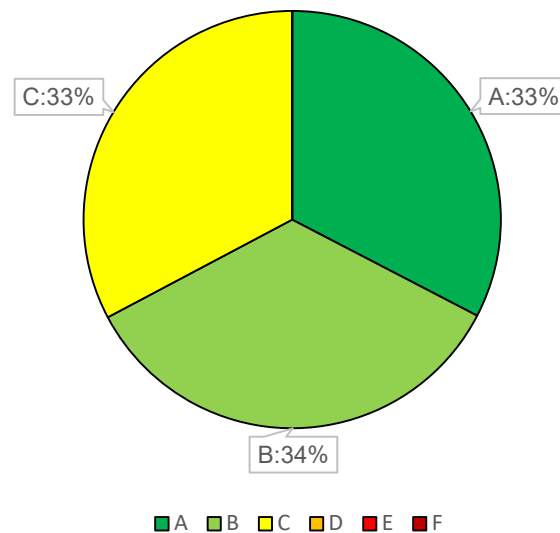


Figura 59 - NS Movimiento 9

Fuente: Elaboración propia

Se observa que claramente el movimiento más desfavorable en la intersección en T es el 7. Con la proyección del tráfico considerada para el año 2041, la intersección estaría un 51% en el nivel de servicio F.

Teniendo en cuenta las conclusiones sacadas del estudio de campo realizado y del estudio de capacidades y niveles de servicio, es necesario un rediseño que nos permita una mejor distribución del tráfico, que aborde la demanda de tráfico y que desde el punto de vista de la seguridad vial sea más seguro.

#### 4.3.4.2. Glorieta

Las glorietas poseen un diseño que a diferencia de las intersecciones en T obliga a todos los vehículos a controlar la velocidad de los vehículos que la atraviesan, y ante un tráfico bajo o medio reduce los retardos para atravesarla y así se evitan retenciones.

En las siguientes figuras se muestran los resultados del estudio de capacidades y niveles de servicio en glorietas según el HCM 2010 y el HCM 2016. Se obtienen los niveles de servicio para cada una de las patas que conforman la glorieta.

En estos cálculos ya se ha tenido en cuenta el diseño geométrico final compuesto por un carril de entrada y dos carriles en el anillo.

- HCM 2010

Pata 1

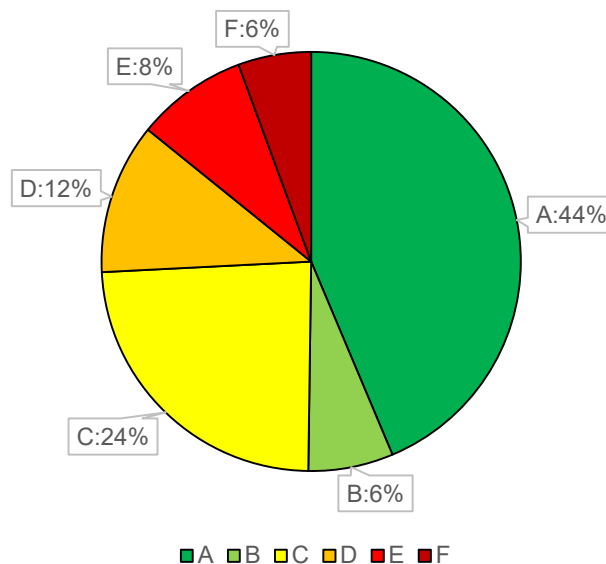


Figura 60 - NS Pata 1 HCM 2010

Fuente: Elaboración propia

## Pata 2

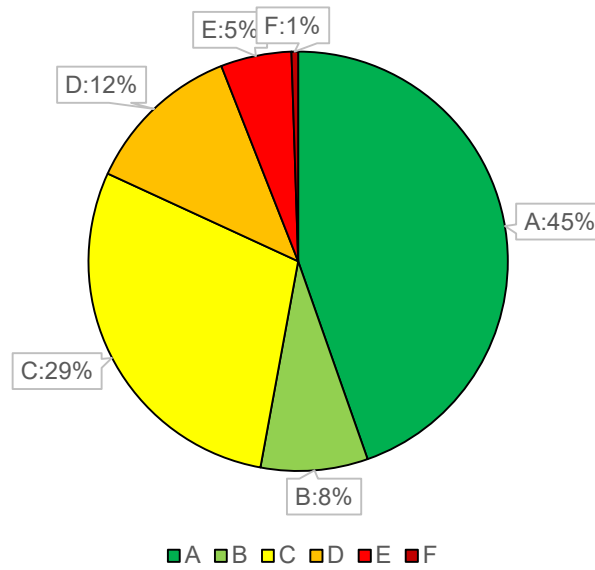


Figura 61 - NS Pata 2 HCM 2010

Fuente: Elaboración propia

## Pata 3

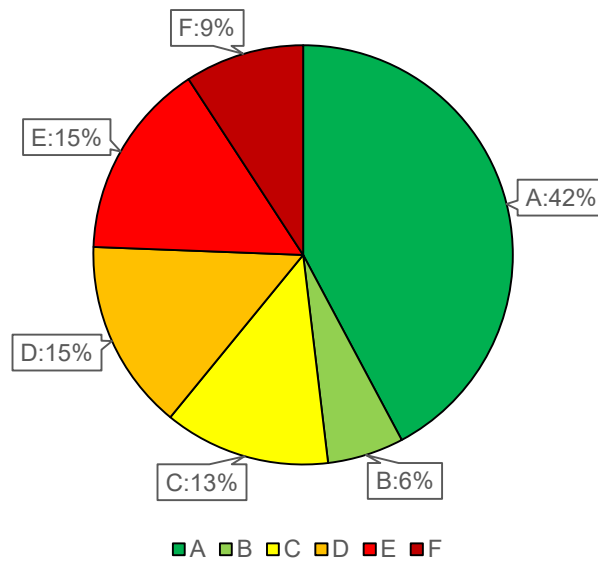


Figura 62 - NS Pata 3 HCM 2010

Fuente: Elaboración propia

- HCM 2016

Pata 1

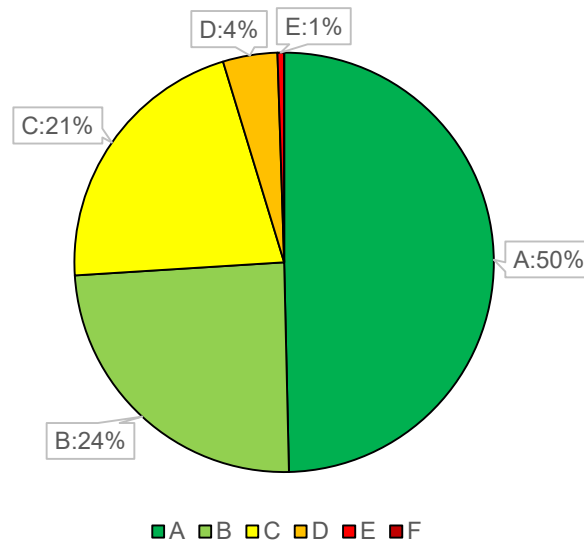


Figura 63 - NS Pata 1 HCM 2016

Fuente: Elaboración propia

Pata 2

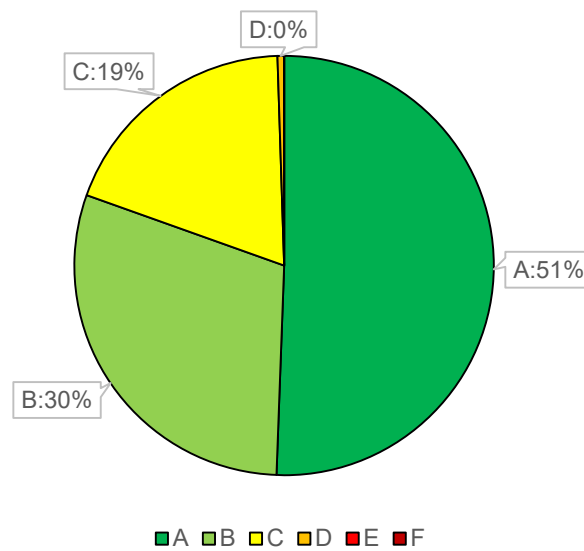


Figura 64 - NS Pata 2 HCM 2016

Fuente: Elaboración propia

### Pata 3

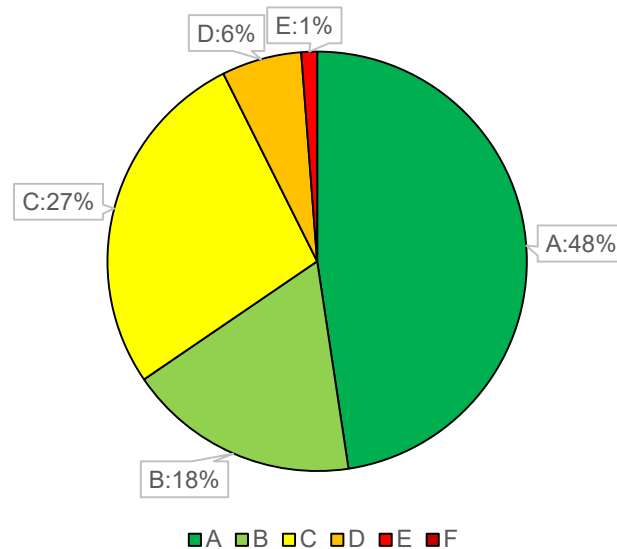


Figura 65 - NS Pata 3 HCM 2016

Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar en los gráficos tanto en los resultados del HCM 2010 y en el HCM 2016 se produce una distribución equitativa de los niveles de servicio comparando las diferentes patas, por lo que se cumple uno de los objetivos del rediseño de la intersección.

Además, se consigue reducir de manera clara los porcentajes alta de niveles de servicio que resultan desfavorables.

En el *Anexo 1: Listados del estudio del tráfico* se encuentra los resultados correspondientes al estudio de capacidades y niveles de servicio

#### 4.4. Diseño geométrico

En el presente apartado se describen las características geométricas de la glorieta. La normativa empleada es la siguiente:

- Norma 3.1-IC Trazado. Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana. (2016).
- "Guía de nudos viarios", aprobada por Orden Circular 32/2012.
- "Recomendaciones sobre glorietas" del MOPU, de 1989.

Para la confección del trazado, tanto en planta como en alzado, se ha utilizado el programa Istram.

#### 4.4.1. Descripción de los ejes

Se han generado un total de 6 ejes viales en el nudo y entorno de la zona de actuación que han modificado el trazado de los viales existentes. Los encuentros de tres de estos ejes son los que generan el nudo que se ha resuelto por medio de una intersección tipo glorieta:

Eje Rotonda: es el eje que conforma el diámetro exterior de la calzada anular.

- P.K. inicial: 0+000.000
- P.K. final: 0+125.660

Eje Ramal Sur: es el eje sur que conecta la TF-652 con la glorieta.

- P.K. inicial: 0+000.000
- P.K. final: 0+072.080

Eje Ramal Norte: es el eje norte que conecta la TF-652 con la glorieta.

- P.K. inicial: 0+000.000
- P.K. final: 0+157.620

Eje Ramal Oeste: es el eje oeste que conecta la TF-653 con la glorieta.

- P.K. inicial: 0+000.000
- P.K. final: 0+127.510

Eje Camino 1: es un eje secundario que se conecta con la TF-653.

- P.K. inicial: 0+000.000
- P.K. final: 0+034.290

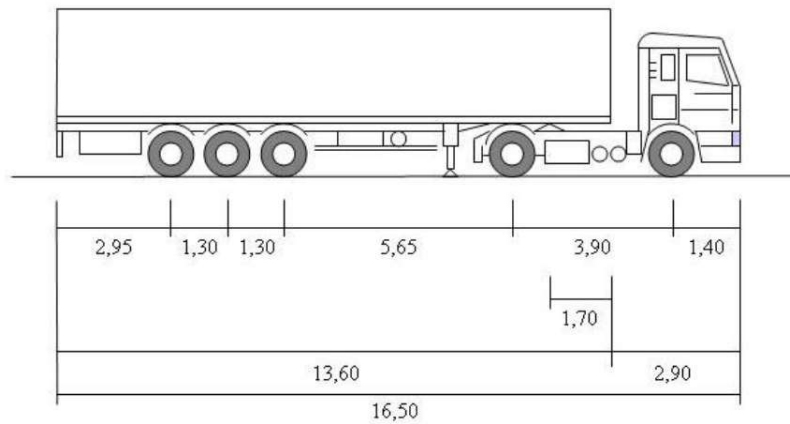
Eje Camino 2: otro eje secundario que se conecta con la TF-653.

- P.K. inicial: 0+000.000
- P.K. final: 0+034.530

#### 4.4.2. Vehículo de proyecto

Se define como vehículo patrón, aquel que sirve como referencia para el diseño de los elementos de una carretera.

Teniendo en cuenta las condiciones de explotación de la carretera, se define como vehículo patrón el camión articulado.



*Figura 66 - Vehículo de proyecto*

*Fuente: Norma 3.1-IC*

#### 4.4.3. Trazado en planta

Para el trazado en planta de la glorieta se ha realizado un espaciamiento uniforme de las vías que concurren en la calzada anula, de manera que se han considerado los siguientes puntos.

- El ángulo subtendido al centro de la glorieta por dos puntos de intersección de la circunferencia definida por el borde exterior de la calzada anular: uno con la trayectoria más desfavorable de entrada por una vía de acceso y otro con la trayectoria más desfavorable de salida por la vía de acceso siguiente, no será menor que sesenta ( $\nless 60$ ) gonios.
- La separación entre accesos medidos sobre el borde exterior de la calzada anular entre puntas de isletas será mayor o igual que veinte metros ( $\geq 20$  m).

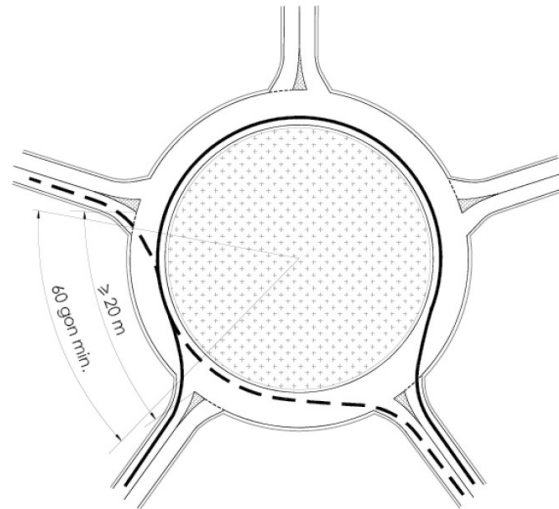


Figura 67 - Figura 10.6 Norma 3.1-IC

Se ha comprobado que el ángulo ( $\theta$ ) entre las trayectorias de acceso a las glorietas diseñadas y la trayectoria a la que se incorpora, se encuentra comprendido entre los 45 gonios y los 67 gonios.

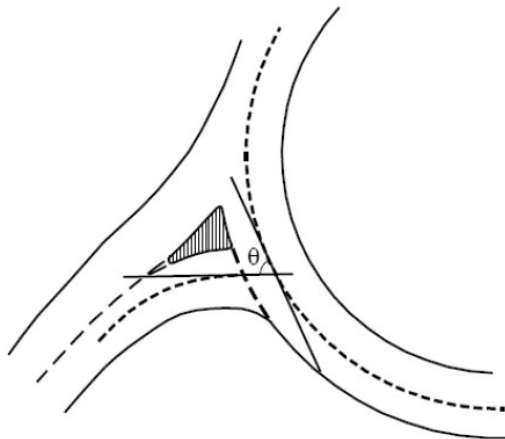


Figura 68 - Figura 10.7 Norma 3.1-IC

La calzada anular se ha diseñado con una inclinación transversal constante del 2 % hacia su borde exterior, permitiendo una mejor solución a los encuentros de la calzada anular y las vías de acceso de entrada y salida. Esto conlleva un aumento de la visibilidad de la calzada anular para los vehículos que se aproximan.

Para los arcenes se ha mantenido la misma inclinación transversal que la calzada y en la isleta central se ha dispuesto una inclinación del 5 % hacia el exterior.



#### **4.4.4. Alzado**

El eje en planta de la calzada anular está íntegramente incluido en un mismo plano, con una rasante del 2%. La rasante ha quedado definida por su borde exterior.

#### **4.4.5. Sección transversal**

La glorieta está situada en un tramo interurbano, por lo tanto, según la normativa vigente el diámetro exterior de la calzada anular tiene que estar comprendida entre 35 y 45 metros. Se ha optado por un diámetro exterior de 40 metros.

Con respecto al ancho de la calzada anular se ha tenido en cuenta las trayectorias del vehículo del proyecto y finalmente, se establecido un ancho de 9,75 metros.

Los arcenes interiores y exteriores se han diseñado con un ancho de 50 centímetros, al igual que en el resto de las calzadas.

#### **4.4.6. Conexiones con la calzada anular**

##### **4.4.6.1. Entradas**

Las entradas a la calzada anular de las glorietas se han realizado con el mismo número de carriles que las patas de acceso, empleando un ancho de carril de 4.00 metros.

Las conexiones de las entradas de las glorietas con la calzada anular han sido realizadas mediante radio de 27 y 30 metros, valores que están comprendido entre los establecidos en las “Recomendaciones sobre glorietas”.

##### **4.4.6.2. Salidas**

Al igual que en las entradas, las salidas de la calzada anular se han realizado con un único carril. En consecuencia, el ancho de la calzada junto a la isleta separadora será de 6 metros, para permitir rebasar a un vehículo averiado o detenido.

Para que resulten fácil las maniobras de salida, se han conectado las salidas de las glorietas con la calzada anular mediante un radio de 20 metros, el mínimo establecido en la “Recomendaciones sobre glorietas”.

#### **4.4.7. Trayectorias**

En glorietas, para el carril más desfavorable de cada entrada se determinan las tres trayectorias del vehículo patrón que correspondan al giro a la derecha para tomar la

primera salida, al movimiento aproximadamente recto que corresponde, en su caso, a tomar la salida que prolonga la pata de entrada y al giro a la izquierda para tomar la última salida antes de la entrada en cuestión.

Las trayectorias se han determinado de manera que su tiempo de recorrido sea el menor posible y siempre que el espacio barrido respete los siguientes resguardos:

- Donde haya arceles de más de 0.5 metros de anchura, la trayectoria se podrá aproximar hasta 1 metro del borde de la calzada.
- Donde existan arceles superiores a 0.5 metros, la trayectoria se podrá aproximar hasta 1.5 metros del arcén.
- En patas de calzada única con doble sentido de circulación, la trayectoria se podrá aproximar hasta 1,0 m de la marca vial de separación de sentidos.

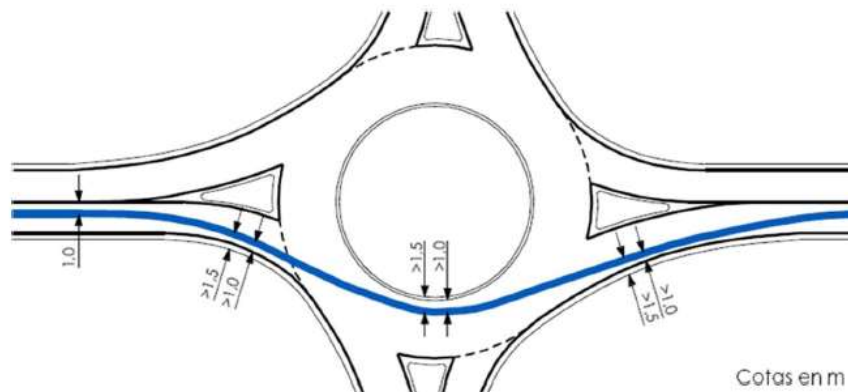


Figura 69 - Figura 4.6-B Guía de nudos viarios

Las comprobaciones de las trayectorias han definido la sección transversal de la glorieta. En un principio el trazado general de la glorieta se realizó empleando únicamente un carril en el anillo con un ancho de 6.00 metros. Tras comprobar las trayectorias con el vehículo de proyecto se optó por el diseño de una calzada anular de 9,75 metros de ancho y 2 carriles.

#### 4.4.8. Isletas separadoras

En general el número de isletas de un nudo debe reducirse al mínimo imprescindible para llevar a cabo las funciones que se les asignen. Los diseños deben de ser sencillos, ya que son más fáciles de construir, se adaptan mejor a los cambios cuando cambian las circunstancias del tráfico, y son mejor comprendidos por los conductores.

La materialización de las isletas depende de las dimensiones de estas y su localización (fuera de poblado o en zonas urbanas).

La ejecución de las isletas separadoras se ha realizado atendiendo a los siguientes criterios:

- Donde los bordillos sean paralelos a una calzada, deben estar retranqueados como mínimo a 0.50 metros respecto del borde.
- Las esquinas de las isletas materializadas por bordillos se redondearán con un radio mínimo de 0.50 metros.
- Las esquinas de las isletas materializadas por bordillos que un conductor se encuentre primero llevarán un retranqueo adicional. El retranqueo total será como mínimo de 1.00 metro.

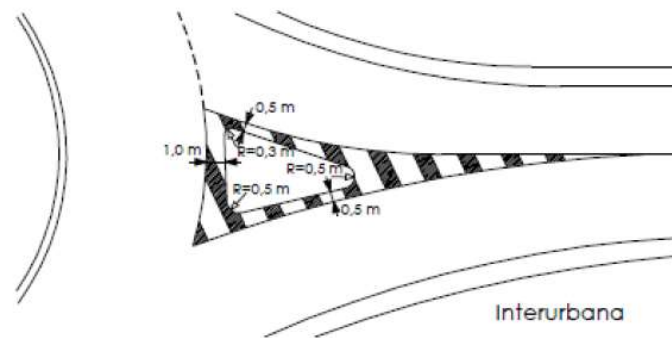


Figura 70 - Figura 4.8-A Guía de nudos viarios

En el *Anexo 2: Listados del diseño geométrico*, se encuentran los listados relativos al modelo que son extraídos del programa de modelado.

## 4.5. Firmes

La Norma 6.1-IC “Secciones de firme” de la Instrucción de Carreteras presenta una metodología que ayuda a determinar la sección de firme a emplear en una carretera de nueva ejecución.

En la norma se incluye un catálogo de secciones de firme que facilita y simplifica la selección del firme para ingeniero proyectista.

Entre factores que depende del tráfico, a la hora seleccionar las secciones hay que tener en cuenta también las técnicas constructivas y de los materiales constructivos, así como los aspectos funcionales y de seguridad de la circulación vial. Además, para la selección

final de firme se debe de incorporar un estudio de los costes de conservación y construcción.

En los siguientes subapartados se expone la metodología empleada para la selección del firme.

#### 4.5.1. Categoría del tráfico pesado

La estructura del firme, entre otros factores, debe de adecuarse a la acción prevista del tráfico, fundamentalmente del más pesado, durante la vida útil del firme. Por ello, la sección estructural del firme depende en primer lugar de la intensidad media diaria de vehículos pesados (IMDp) que se prevea en el carril de proyecto en el año de puesta en servicio. Dicha intensidad se utilizará para establecer la categoría del tráfico pesado.

Para determinar la intensidad media de vehículos pesados en el carril de proyecto (IMDp<sup>CP</sup>) se tiene en cuenta que se dispone de una calzada de dos carriles con doble sentido de circulación, en la que incide sobre cada carril la mitad de los vehículos pesados que circulan por la calzada.

La IMDp en el año de puesta en el año de puesta en servicio es de 512 vehículos pesados/días. Por lo tanto, la IMDp<sup>CP</sup> es de 256 vehículos pesados/día.

La norma define ocho categorías del tráfico pesado según la IMDp<sup>CP</sup>, definidas en las siguientes tablas.

CATEGORÍA DE TRÁFICO PESADO	T00	T0	T1	T2
IMDp (vehículos pesados/día)	≥ 4 000	< 4 000 ≥ 2 000	< 2 000 ≥ 800	< 800 ≥ 200

Figura 71 - Categorías de tráfico pesado T00 a T2

Fuente: Norma 6.1-IC

CATEGORÍA DE TRÁFICO PESADO	T31	T32	T41	T42
IMDp (vehículos pesados/día)	< 200 ≥ 100	< 100 ≥ 50	< 50 ≥ 25	< 25

Figura 72 - Categoría de tráfico pesado T3 y T4

Fuente: Norma 6.1-IC

Dado que la IMDp<sup>CP</sup> está comprendida entre 200 y 800 vehículos pesados/días, se adopta la categoría de tráfico pesado T2.

#### 4.5.2. Categoría de la explanada

A efectos de definir la estructura del firme, la Norma 6.1-IC establece tres categorías de explanada, denominadas respectivamente E1, E2 y E3. Estas categorías se determinan según el módulo de compresibilidad en el segundo ciclo de carga ( $E_{v2}$ ), obtenido de acuerdo con la NLT-357 “Ensayo de carga con placa”, cuyos valores se recogen en la siguiente tabla.

CATEGORÍA DE EXPLANADA	E1	E2	E3
$E_{v2}$ (MPa)	$\geq 60$	$\geq 120$	$\geq 300$

Figura 73 - Módulo de compresibilidad en el segundo ciclo de carga

Fuente: Norma 6.1-IC

El ensayo de carga con placa o placa de carga es un ensayo “in situ” que se emplea para determinar la capacidad portante de una explanada utilizando una placa de diámetro 30, 45 o 60 cm y aplicando tensiones reducidas, sin llegar a la rotura.

La formación de la explanada de las distintas categorías se recoge en la Figura 1 de la Norma 6.1-IC, dependiendo del tipo de suelo de la explanación o de la obra de tierra subyacente, y de las características y espesores de los materiales disponibles.

Debido a que no se dispone de la capacidad ni de los medios para la realización de los diferentes ensayos que permitirían definir la formación de la explanada, en el presente documento no queda definida la estructura ni los tipos de suelos a emplear en la misma.

Sin embargo, para establecer la sección del firme resulta necesario definir la categoría de explanada, por lo que, se adopta la categoría de explanada E2.

#### 4.5.3. Alternativas para la sección de firme

Respecto al estudio de alternativas de la sección de firme, cabe destacar que para los diferentes accesos y ramales de las intersecciones se adoptará la misma sección, quedándonos del lado de la seguridad, pues en ningún caso los niveles de tráfico en estos van a alcanzar los del tronco principal. Entre las alternativas se seleccionará la más adecuada técnica y económicamente.

De acuerdo con los apartados anteriores se tiene una categoría de tráfico pesado T2 y una categoría de la explanada E2, con lo que atendiendo a la siguiente figura quedan definidas las alternativas a analizar.

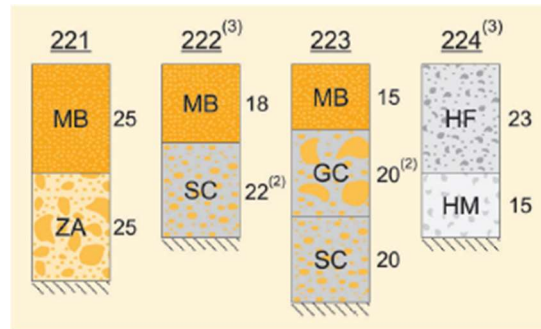


Figura 74 - Alternativas de sección de firme

Fuente: Norma 6.1-IC

Los espesores de las capas indicados en la figura son los mínimos en cualquier punto de la sección transversal del carril de proyecto, medidos en centímetros.

- La sección 221, está compuesta por una capa inferior de 25 cm de zahorra artificial y una capa superior de mezcla bituminosa de 25 cm.
- La sección 222, formada por una capa inferior de suelocemento de 22 cm de espesor y una capa superior de mezcla bituminosa de 18 cm.
- La sección 223, está compuesta por una primera capa de suelocemento de 20 cm, otra capa intermedia de gravacemento y, por último, una capa superior de mezcla bituminosa de 15 cm.
- La sección 224, está constituida por una capa de hormigón magro vibrado de 20 cm y otra capa de hormigón de firme de 23 cm.

Queda descartada la sección formada por hormigón de firme (224), ya que en esta se suelen producir asientos y en su ejecución se requiere de una maquinaria específica. Además, este tipo de material no se suele emplear en carreteras, siendo utilizado frecuentemente en zonas de aparcamientos, gasolineras, puertos, etc.

Debido a que en gran parte de la actuación ya hay firme y se intentará aprovechar lo existente. Por simplificación, se realizará un estudio económico de las dos primeras secciones (221 y 222).

#### 4.5.4. Definición de los materiales

##### 4.5.4.1. Mezcla bituminosa

Las mezclas bituminosas en caliente vienen definidas en el Artículo 542, sobre Mezclas Bituminosas en Caliente Tipo Hormigón Bituminosos, del Pliego de Prescripciones



Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes (PG-3), aprobado por la ORDEN FOM 2523/2014, de 12 de diciembre.

La designación de las mezclas bituminosas tipo hormigón bituminoso se realiza según la nomenclatura establecida en la UNE-EN 13108-1, siguiendo el esquema siguiente:

AC | D | Surf/bin/base | Ligante | Granulometría

en donde:

AC	Indica que la mezcla es de tipo hormigón bituminoso.
D	Es el tamaño máximo del árido, expresado como la abertura del tamiz que deja pasar entre un 90 y un 100 % del total del árido.
Surf/bin/base	Se indica con estas abreviaturas si la mezcla se va a emplear en capa de rodadura, intermedia o base, respectivamente.
Ligante	Se debe incluir la designación del tipo de ligante hidrocarbonado utilizado.
Granulometría	Se indica con la letra D, S o G si el tipo de granulometría corresponde a una mezcla densa (D), semidensa (S) o gruesa (G) respectivamente.

#### Espesor de las capas

El tipo de mezcla bituminosa en caliente a emplear en función del tipo y del espesor de la capa del firme, se define según la siguiente tabla:

TIPO DE CAPA	TIPO DE MEZCLA	ESPESOR (cm)
	DENOMINACIÓN. NORMA UNE-EN 13108-1	
RODADURA	AC16 surf D AC16 surf S	4 – 5
	AC22 surf D AC22 surf S	> 5
INTERMEDIA	AC22 bin D AC22 bin S AC32 bin S AC 22 bin S MAM	5-10
BASE	AC32 base S AC22 base G AC32 base G AC 22 base S MAM	7-15
ARCENES	AC16 surf D	4-6

Tabla 24 - Tipo de mezcla en función del tipo y espesor de la capa

Fuente: Norma 3.1-IC

### Elección del ligante

Para la elección del tipo de ligante hidrocarbonatado, así como para la relación entre su dosificación en masa y la del polvo mineral, se tiene en cuenta la zona térmica estival definida en la siguiente figura, la cual clasifica las zonas en cálida, media y templada.

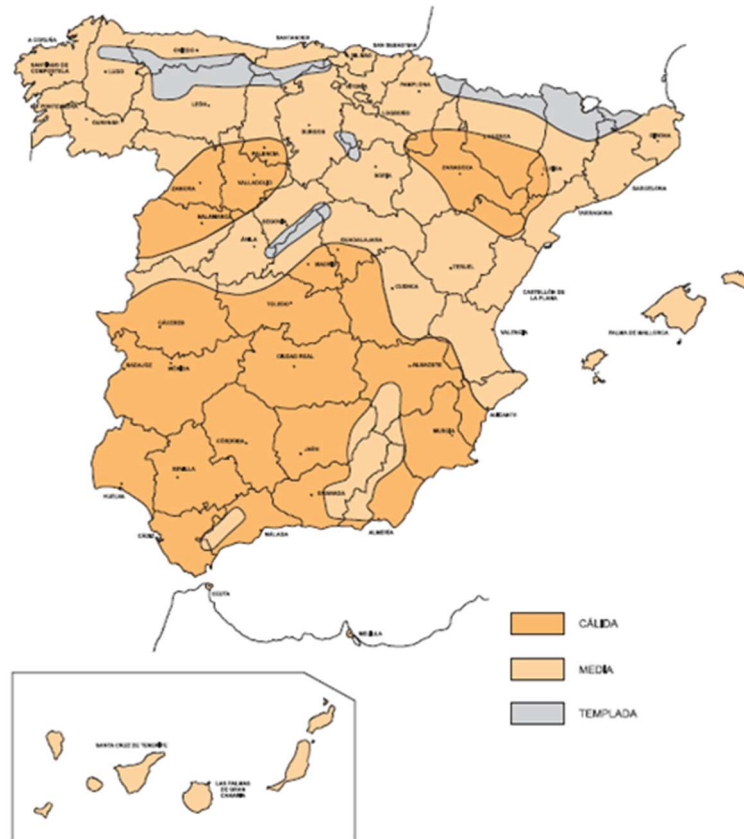


Figura 75 - Zonas térmicas estivales

Fuente: Figura 3. Norma 6.1-IC

Como se puede comprobar en la figura, Canarias se encuentra en la zona térmica media.

El ligante hidrocarbonatado a emplear, además de lo anterior, será seleccionado en función a la capa a que se destine la mezcla bituminosa en caliente y la categoría del tráfico pesado, entre los que se indican en la tabla 542.1 del PG-3.

Lo común en Canarias es el uso del betún B50/70 como ligante hidrocarbonatado para cualquier capa.

#### Tipo de granulometría

La mezcla bituminosa será de tipo semidensa (S), debido a que la zona de actuación se sitúa en la vertiente sur de la isla caracterizada por un régimen de lluvias bajo

#### 4.5.4.2. Riego de adherencia

Sobre las capas de materiales tratados con cemento y las capas de mezcla bituminosa que vayan a recibir una capa de mezcla bituminosa, deberá efectuarse, previamente, un

riego de adherencia. Los riegos de adherencia quedan definidos en el Artículo 531 del PG-3.

Para la ejecución de estos riegos, se suele emplear en Canarias la emulsión bituminosa C60B3 ADH con una dotación en torno a 0,5 kg/m<sup>2</sup>. La correcta ejecución de este riego es fundamental para el buen comportamiento del firme.

#### 4.5.4.3. Riego de imprimación

Sobre la capa granular que vaya a recibir una capa de mezcla bituminosa o un tratamiento superficial, deberá efectuarse, previamente, un riego de imprimación. Los riegos de imprimación quedan definidos en el Artículo 530 del PG-3.

En Canarias se suele utilizar la emulsión bituminosa C60BF4 IMP, con una dotación en torno a 1,5 kg/m<sup>2</sup>, para la ejecución de estos riegos de imprimación.

#### 4.5.4.4. Zahorra artificial

Se denomina zahorra artificial al constituido por partículas total o parcialmente trituradas, en la proporción mínima que se especifique en cada caso. Las zahorras quedan definidas en el Artículo 510 del PG-3.

Lo normal es utilizar, en bases o subbases granulares, zahorras artificiales tipo ZA-0/20 o ZA-0/32. Las tongadas tendrán un espesor máximo de 30 centímetros.

#### 4.5.4.5. Suelocemento

Se define como material tratado con cemento la mezcla homogénea, en las proporciones adecuadas, de material granular, cemento, agua y, eventualmente aditivos, realizada en central, que convenientemente compactada, se utiliza como capa estructural en firmes de carretera.

El suelocemento queda definido en el Artículo 513 del PG-3. Se suele emplear el tipo de suelocemento SC20, ya que el material granular presenta una menor granulometría generando menos huecos y permitiendo un comportamiento mejor del material.

#### 4.5.4.6. Riego de curado

Se define como riego de curado la aplicación de una película continua y uniforme de emulsión bituminosa sobre una capa tratada con un conglomerante hidráulico, al objeto

de impermeabilizar toda la superficie y evitar la evaporación del agua necesaria para el correcto fraguado.

Los riegos de curados quedan definidos en el Artículo 532 del PG-3. Para la ejecución de este tipo de riegos, se emplea la emulsión C60B3 CUR o C60B2 CUR, que se encuentran descritas en el Artículo 214 del PG-3.

#### 4.5.5. Definición de las secciones

En este apartado se caracterizan las dos alternativas de firmes, verificando para cada una de ellas las condiciones establecidas en el PG-3.

SECCIÓN 221 (Opción 1)
5 cm CAPA DE RODADURA AC16 surf B50/70 S
RIEGO DE ADHERENCIA C60B3 ADH (0,5 kg/m <sup>2</sup> )
10 cm CAPA INTERMEDIA AC22 bin B50/70 S
RIEGO DE ADHERENCIA C60B3 ADH (0,5 kg/m <sup>2</sup> )
10 cm CAPA BASE AC32 base B50/70 S
RIEGO DE IMPRIMACIÓN C60BF4 IMD (1,5 kg/m <sup>2</sup> )
25 cm CAPA BASE GRANULAR ZA 0/20

Tabla 25 - Definición sección 221

Fuente: Elaboración propia

SECCIÓN 222 (Opción 2)
8 cm CAPA DE RODADURA AC22 surf B50/70 S
RIEGO DE ADHERENCIA C60B3 ADH (0,5 kg/m <sup>2</sup> )
10 cm CAPA INTERMEDIA AC32 bin B50/70 S
RIEGO DE ADHERENCIA C60B3 ADH (0,5 kg/m <sup>2</sup> )
RIEGO DE CURADO C60B3 CUR (0,5 kg/m <sup>2</sup> )
22 cm SUELOCEMENTO SC20

Tabla 26 - Definición sección 222

Fuente: Elaboración propia

#### 4.5.6. Selección del firme

Para determinar la sección de firme a adoptar se ha realizado un estudio económico de las alternativas comparando el precio por metro cuadrado de cada una de las secciones.

SECCIÓN 221 (Opción 1)	Espesor	Dotación	Precio	Coste
5 cm CAPA DE RODADURA AC16 surf B50/70 S (2,50 tn/m <sup>3</sup> )	0,05	2,5	26,50 €	3,31 €
RIEGO DE ADHERENCIA C60B3 ADH (0,5 kg/m <sup>2</sup> )		0,0005	369,70 €	0,18 €
10 cm CAPA INTERMEDIA AC22 bin B50/70 S (2,45 tn/m <sup>3</sup> )	0,1	2,45	26,44 €	6,48 €
RIEGO DE ADHERENCIA C60B3 ADH (0,5 kg/m <sup>2</sup> )		0,0005	369,70 €	0,18 €
10 cm CAPA BASE AC32 base B50/70 S (2,45 tn/m <sup>3</sup> )	0,1	2,45	26,46 €	6,48 €
RIEGO DE IMPRIMACIÓN C60BF4 IMD (1,5 kg/m <sup>2</sup> )		0,0015	379,23 €	0,57 €
25 cm CAPA BASE GRANULAR ZA 0/20	0,25		18,19 €	4,55 €
<b>Total</b>				<b>21,76 €</b>

SECCIÓN 222 (Opción 2)	Espesor	Dotación	Precio	Coste
8 cm CAPA DE RODADURA AC22 surf B50/70 S (2,50 tn/m <sup>3</sup> )	0,08	2,5	26,13 €	5,23 €
RIEGO DE ADHERENCIA C60B3 ADH (0,5 kg/m <sup>2</sup> )		0,0005	369,70 €	0,18 €
10 cm CAPA INTERMEDIA AC32 bin B50/70 S (2,45 tn/m <sup>3</sup> )	0,1	2,45	26,46 €	6,48 €
RIEGO DE ADHERENCIA C60B3 ADH (0,5 kg/m <sup>2</sup> )		0,0005	369,70 €	0,18 €
RIEGO DE CURADO C60B3 CUR (0,6 kg/m <sup>2</sup> )		0,0006	369,70 €	0,22 €
22 cm SUELOCEMENTO SC20	0,22		21,81 €	4,80 €
			<b>Total</b>	<b>17,10 €</b>

Tras realizar el estudio, se concluye que la sección 222 es la más económica, y, por lo tanto, la empleada para formar la estructura del firme.

#### 4.5.7. Arcenes

Los arcenes que se han adoptado en el proyecto no son superiores a 1,25 metros, por lo que, por razones constructivas el firme de los arcenes será la prolongación del firme de la calzada adyacente.

La ejecución del firme en los arcenes se realizará simultáneamente, sin junta longitudinal entre la calzada y el arcén.

### 4.6. Señalización

En este apartado se realiza la descripción y justificación los diversos elementos que se precisan para conseguir el máximo grado de seguridad, eficacia y comodidad en la circulación de vehículos

Para el caso de estudio los elementos corresponden a la señalización horizontal y vertical, que tienen por finalidad informar a los usuarios de las carreteras, orientar a los conductores y proteger ante posibles accidentes.

#### 4.6.1. Señalización horizontal

La señalización horizontal corresponde a la aplicación de marcas viales, conformadas por líneas o figuras aplicadas sobre el pavimento, que tienen por misión satisfacer una o varias de las siguientes funciones:

- Delimitar carriles de circulación.
- Separar sentidos de circulación.
- Indicar el borde de la calzada.
- Delimitar zonas excluidas a la circulación regular de vehículos.



- Reglamentar la circulació, espacialmente el adelantamiento, la parada y el estacionamiento.
- Completar o precisar el significado de señales verticales y semáforos.
- Repetir o recordar una señal vertical.
- Permitir los movimientos indicados, y anunciar, guiar y orientar a los usuarios.

Para la disposición de las marcas viales se han tenido en cuenta los siguientes documentos:

- Norma de Carreteras 8.2-I.C. Marcas viales.
- Guía para el proyecto y ejecución de las obras de señalización horizontal. Dirección General de Carreteras.

A efecto de la Norma 8.2-I.C., las marcas viales se clasifican en los siete grupos siguientes:

- Longitudinales discontinuas.
- Longitudinales continuas.
- Longitudinales continuas adosadas a discontinuas.
- Transversales.
- Flechas.
- Inscripciones.
- Otras marcas.

Las dimensiones de las marcas viales varían en función del tipo de vía o de la velocidad máxima.

A continuación, se indican las marcas viales que se disponen.

#### Marcas longitudinales discontinuas

- Línea de separación de carriles normales (M-1.3) de 0,10 metros de ancho con secuencia de 2 metros de trazado y 5.50 metros de vano.
- Línea de separación de carriles de entrada o salida (M-1.7) de 0.30 metros de ancho con secuencia de trazado y el vano de 1.00 metro.

#### Marcas longitudinales continuas

- Línea de separación de sentidos en calzadas de dos carriles (M-2.2) de 0.10 metros de ancho.
- Línea de borde de calzada y contorno de isleta infranqueable (M-2.6) de 0.10 metros de ancho al disponerse de arcenes inferiores a 1.50 metros.

### Marcas transversales

- Marca transversal discontinua de ceda el paso (M-4.2) de 0.40 metros de ancho con secuencia de 0,80 metros de trazado y con vano de 0.40 metros.

### Flechas

- Flechas de dirección o de selección de carriles (M-5.2) para vías con velocidades iguales o inferiores a 60 km/h.

### Inscripciones

- Inscripción de ceda el paso (M-6.5).
- Inscripción de BUS (M-6.2).

#### **4.6.2. Señalización vertical**

La señalización vertical constituye un conjunto de elementos que aportan información al conductor sobre los peligros, recomendaciones, prohibiciones y demás condicionantes que facilitan la circulación de los vehículos y mejoran las condiciones de seguridad.

A la hora de definir los elementos que forman parte de la señalización vertical se han empleado los siguientes documentos:

- Norma 8.1-I.C “Señalización Vertical”, aprobada en la Orden FOM/534/2014 de 20 de marzo.
- Catálogo de Señales de Circulación de la Dirección General de Carreteras.

En el presente estudio se incluyen señales de los siguientes tipo:

#### **Señales de reglamentación**

Las señales de reglamentación tienen por finalidad indicar a los usuarios de la vía las obligaciones, limitaciones o prohibiciones especiales que deben observar. Este tipo de señales son generalmente circulares y se designan por la letra “R” seguida de un número. Las señales de reglamentación empleadas se subdividen en los siguientes tipos:

Señales de prioridad: están destinadas a poner en conocimiento de los usuarios de la vía las reglas específicas de prioridad en las intersecciones o en los pasos estrechos.

En el proyecto se ha utilizado:

- R-1: ceda el paso

Señales de prohibición de entrada: se ha empleado:

- R-101: entrada prohibida

Otras señales de prohibición o restricción: en el proyecto se ha empleado la siguiente señal:

- R-301: velocidad máxima

Señales de obligación: son aquellas que señalan una norma de circulación obligatoria. En el proyecto se ha empleado la siguiente:

- R-401a: Paso obligatorio.
- R-402: intersección de sentido giratorio obligatorio.

### **Señales de indicaciones**

Las señales de indicación tienen por objetivo facilitar al usuario de las vías ciertas indicaciones que pueden serle de utilidad. Se representan por la letra “S”, seguida de una enumeración.

En el caso de estudio se ha empleado la señal de dirección S-300 que indica prohibiciones de un itinerario por carrera convencional.

En la siguiente figura se expone un ejemplo de disposición de la señalización.

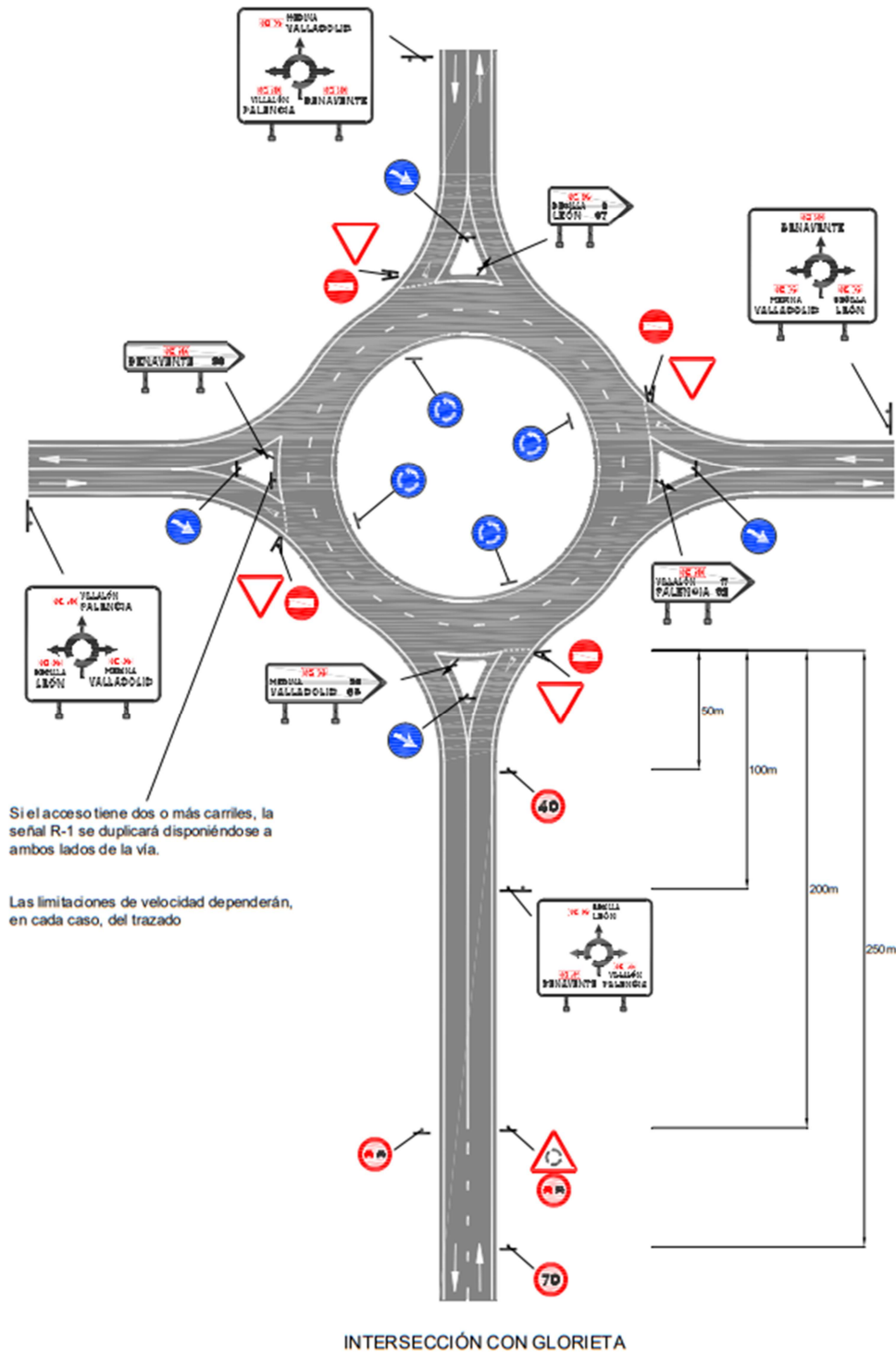


Figura 76 - Ejemplo de disposición de la señalización  
Fuente: Catálogo de señalización

## 4.7. Planificación

### 4.7.1. Fases de ejecución

La obra objeto del presente estudio cuenta con 4 fases de ejecución bien diferenciadas:

- Fase 1 - Actuaciones previas
- Fase 2 - Ejecución del Ramal oeste
- Fase 3 - Ejecución del Ramal norte y sur
- Fase 4 - Acabados

Las dos fases más importantes son la Fase 2 y la Fase 3. Con el objetivo de que se produzcan los menores desvíos provisionales y cortes del tráfico, la ejecución real de la obra se separa en la Fase 2, donde se ejecuta el ramal oeste y media glorieta, y la Fase 3 en la que se realizan las conexiones de los ramales norte y sur, y la ejecución de la parte restante de la glorieta.

El orden de ejecución de los trabajos a realizar en estas dos fases es el siguiente:

- Demolición del firme existente.
- Escarificación y retirada del terreno.
- Excavación en desmonte.
- Terraplenes.
- Ejecución de bordillos.
- Ejecución del suelocemento.
- Extensión de mezcla bituminosa.

En la siguiente tabla se muestran una lista con las actividades más relevantes y su rendimiento.

Actividad	Unidad	Rendimiento por día
Demolición del firme existente	m <sup>2</sup>	1000
Escarificación y retirada del terreno	m <sup>2</sup>	1000
Excavación en desmonte	m <sup>3</sup>	330
Terraplenes	m <sup>3</sup>	300
Ejecución de bordillos	ml	150
Ejecución del suelo cemento	m <sup>3</sup>	120
Extensión de mezcla bituminosa	tn	100

*Tabla 27 - Rendimientos por actividad*

#### 4.7.2. Programa de trabajos

Teniendo en cuenta las diferentes fases de ejecución y los rendimientos de las distintas actividades, se ha desarrollado el plan de obras estimado que se expone a continuación.

Los trabajos necesarios requieren de un total de 70 días laborables para su ejecución.

Por lo tanto, se deduce un Plazo de Ejecución de las Obras de TRES (3) MESES.

Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin	Predecesoras
<b>INICIO DE OBRA</b>	0 días	lun 10/01/22	lun 10/01/22	
<b>FASE 1: ACTUACIONES PREVIAS</b>	<b>9 días</b>	<b>lun 10/01/22</b>	<b>jue 20/01/22</b>	
Implantación	2 días	lun 10/01/22	mar 11/01/22	1
Señalización y balizamiento provisional	1 día	lun 10/01/22	lun 10/01/22	1
Reposición de servicios afectados	5 días	mié 12/01/22	mar 18/01/22	3;4
Demolición de muro	2 días	mié 12/01/22	jue 13/01/22	3;4
Tala y transporte de árboles	6 días	mié 12/01/22	mié 19/01/22	3;4
Despeje y desbroce vegetación existente	1 día	jue 20/01/22	jue 20/01/22	7
<b>FASE 2: RAMAL OESTE</b>	<b>23 días</b>	<b>vie 21/01/22</b>	<b>mar 22/02/22</b>	
Demolición del firme existente	2 días	vie 21/01/22	lun 24/01/22	8
Escarificación y retirada del terreno	2 días	mar 25/01/22	mié 26/01/22	10
Excavación en desmonte	3 días	jue 27/01/22	lun 31/01/22	11
Terraplenes	1 día	mar 01/02/22	mar 01/02/22	12
Ejecución de bordillos	1 día	mié 02/02/22	mié 02/02/22	13
Ejecución del suelo cemento	4 días	jue 03/02/22	mar 08/02/22	14
Extensión de mezcla bituminosa	10 días	mié 09/02/22	mar 22/02/22	15
<b>FASE 3: RAMAL NORTE Y SUR</b>	<b>33 días</b>	<b>mié 23/02/22</b>	<b>vie 08/04/22</b>	
Demolición del firme existente	3 días	mié 23/02/22	vie 25/02/22	16
Escarificación y retirada del terreno	3 días	lun 28/02/22	mié 02/03/22	18
Excavación en desmonte	5 días	jue 03/03/22	mié 09/03/22	19
Terraplenes	1 día	jue 10/03/22	jue 10/03/22	20
Ejecución de bordillos	2 días	vie 11/03/22	lun 14/03/22	21
Ejecución del suelo cemento	6 días	mar 15/03/22	mar 22/03/22	22
Extensión de mezcla bituminosa	13 días	mié 23/03/22	vie 08/04/22	23
<b>FASE 4: ACABADOS</b>	<b>5 días</b>	<b>lun 11/04/22</b>	<b>vie 15/04/22</b>	
Señalización horizontal	2 días	lun 11/04/22	mar 12/04/22	24
Señalización vertical	2 días	mié 13/04/22	jue 14/04/22	26
Relleno zahorra artificial rotonda	1 día	lun 11/04/22	lun 11/04/22	24
Limpieza final	1 día	vie 15/04/22	vie 15/04/22	28;26;27
<b>ACTIVIDADES CONTINUAS</b>	<b>70 días</b>	<b>lun 10/01/22</b>	<b>vie 15/04/22</b>	
Seguridad y salud	70 días	lun 10/01/22	vie 15/04/22	1
Control de calidad	70 días	lun 10/01/22	vie 15/04/22	1
Gestión de residuos	70 días	lun 10/01/22	vie 15/04/22	1
<b>FIN DE OBRA</b>	0 días			

Tabla 28 - Plan de trabajos Fuente: Elaboración propia



En el *Anexo 4: Planificación* se puede observar en plan de trabajos plasmado en un Diagrama de Gantt.

## 4.8. Presupuesto

---

El Presupuesto de Ejecución Material (P.E.M) asciende a la cantidad de CIENTO CUARENTA Y NUEVE MIL DOSCIENTOS VEINTISIETE con SIETE CÉNTIMOS (149.222,07 €).

En el *Anexo 5: Presupuesto*, se encuentra el presupuesto desglosado en capítulos y las respectivas mediciones.

## 4.9. Modelado

---

### 4.9.1. Istram

El modelado y diseño de la intersección tipo glorieta se ha realizado haciendo uso de la herramienta informática Istram.

Istram es uno de los softwares más completos para el diseño de proyectos de ingeniería civil. Su potencia de cálculo y su concepción global del proyecto son dos de las características más valoradas.

En este software, el entorno de trabajo está específicamente diseñado para permitir que el ingeniero proyectista mecanice los datos geométricos de los diferentes elementos, obteniendo resultados gráficos e información de manera inmediata, sin necesidad de acudir a cuadros de diálogos complejos. La estructura que presenta permite proyectar carreteras y autopistas hasta configuraciones más complejas como son los proyectos de ferrocarriles, de distribución y abastecimientos de redes, de refuerzo y mejora de vías ya existentes, de proyectos de urbanización o extracción de minerales, etc.

Los ámbitos en que Istram proporciona la más alta productividad son:

- Trazado de obras lineales: carreteras, ferrocarriles, canales, tuberías, etc.
- Diseño de minas a cielo abierto y canteras.
- Control y seguimiento de obras lineales.
- Diseño de escombreras y vertederos.
- Control y seguimiento del desarrollo de operaciones generalizadas de movimiento de tierras.
- Edición y gestión de bases de datos cartográficas 3D.
- Modelización y gestión simultánea de múltiples superficies.

- Cálculo de volúmenes y superficies complejos.

El programa consta de varios módulos:

- Módulo de carga, edición y gestión de cartografía 3D.
- Módulo de proyecto y trazado de obras lineales.
- Módulo para modelado de superficies.
- Módulo para generación de modelos de realidad virtual.

Del Istram se extrae el modelo en IFC del proyecto que junto con la planificación realizada se integran en Navisworks para realizar y simular el avance de la obra.

#### **4.9.2. Navisworks**

Para integrar la metodología BIM en el diseño, se ha empleado otra herramienta informática, Navisworks. A diferencia de Istram, con esta herramienta se garantiza la interoperabilidad, ya que permite el intercambio de información con diferentes formatos de archivos.

La herramienta permite combinar modelos 3D, navegar en tiempo real y realizar revisiones sobre el modelo, gracias a la edición de comentarios, redlinig, puntos de vista y mediciones. Además, otras de las funciones a destacar es la integración de complementos para la detección de interferencias, la simulación del tiempo (planificación) de la obra en un entorno 4D, la renderización, etc.

Los modelos desarrollados en Navisworks se pueden publicar y ver en formatos de archivos .nwd y .dwf en los que se puede incorporar otros modelos digitales.

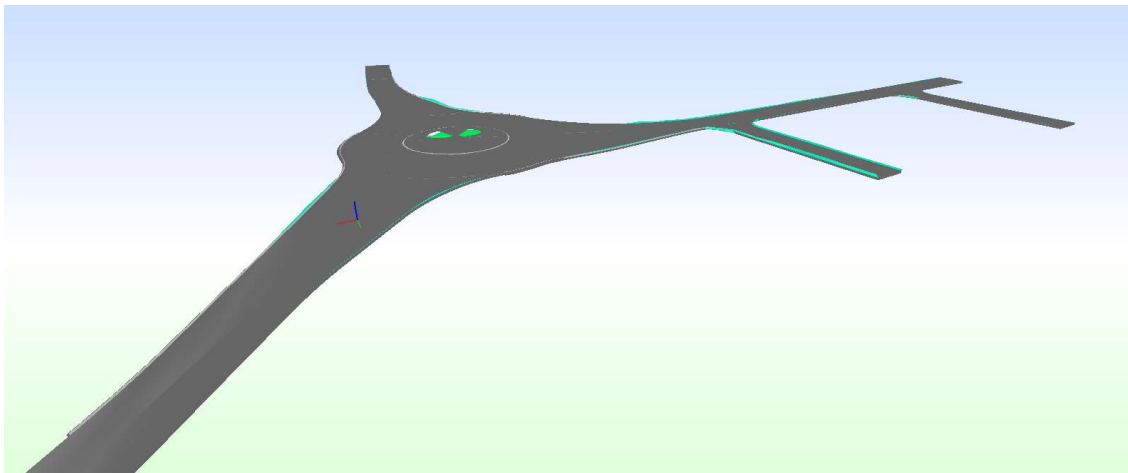
Navisworks se encuentra en tres versiones: Freedom, Simulate o Manage. Con la primera de ellas se pueden publicar y ver modelos de proyectos completos de manera gratuita. Con Simulate o Manage, los modelos creados con distintas herramientas BIM, pueden combinarse en un único modelo integrado y realizar la publicación en formato .nwd, este archivo proporciona acceso al modelo, a las propiedades de objeto, los datos de revisión, entre otros.

En nuestro caso se ha empleado la versión de Navisworks Manage.

A continuación, se detallan las características y funciones más relevantes del software:

- Secciones resaltadas: permite visualizar las secciones con un solo golpe de vista.

- Detección mejorada de colisiones: es una función usada de manera más rápida y eficiente por Navisworks Manage.
- Lector de archivos IFC actualizado: permite compatibilización perfecta con los IFC de Revit, y otros programas.
- Coordinación BIM con otros softwares: se pueden abrir todos los archivos Navisworks en AutoCAD, AutoCAD Civil 3D, Infraworks, Revit, ReCap.
- Compatible con distintos formatos: permite la compatibilidad con más de 60 aplicaciones diferentes de software de terceros.
- Captura automática de cantidad de material de diseños 2D o 3D: se pueden medir líneas, áreas, realizar conteos e incluso exportar datos en formato Excel.
- Navisworks y BIM 360: el modelo se puede compartir perfectamente con “BIM 360”.



*Figura 77 - Modelo (1)*

*Fuente: Elaboración propia*

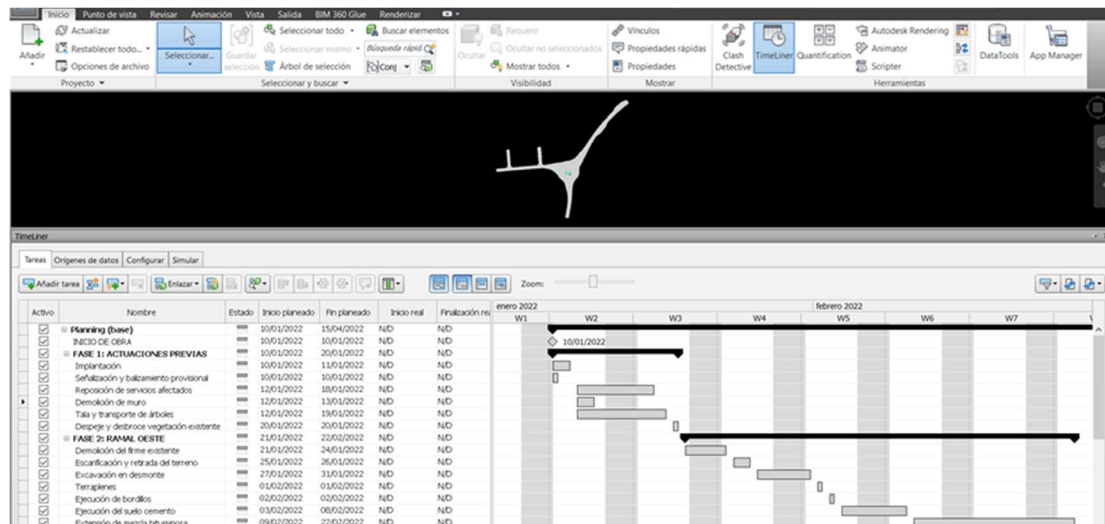


Figura 78 - Modelo (2)

Fuente: Elaboración propia

## 5. Conclusiones

Las conclusiones que se extraen del Trabajo Final de Máster se dividen en generales, que son relativas a la metodología BIM, y específicas de aplicación al caso de estudio.

Se exponen a continuación las conclusiones:

### Generales

- La metodología BIM no implica la utilización de uno o varios softwares, también implica un cambio en la forma de trabajar. Al hablar de BIM no solo se habla de un modelo 3D, las ventajas recaen también en la integración de otras dimensiones, como es el tiempo (4D), el coste (5D), la sostenibilidad o simulación (6D) y la gestión del ciclo de vida (7D).
- El sector de la construcción se encuentra en una revolución tecnológica que obliga a todos los intervinientes a familiarizarse con ellas y el intercambio masivo de datos.
- Las aplicaciones que existen en la actualidad y que son aplicables a la metodología son variadas y poseen funcionalidades diferenciadas. Es por ello, que se debe ser capaz de distinguir cuáles son las más apropiadas en cada proyecto.
- Las ventajas que ofrece el uso del BIM son desconocidas por muchos empresarios, en especial por las PYMEs. Existe incertidumbre acerca de su implementación, la inversión y el tiempo requerido.

- ### Específicas

- Página | 130

## 6. Bibliografía

### Normativa y Recomendaciones

#### Estudio del tráfico

- Transportation Research Board. (2010). *Highway Capacity Manual*.
- Transportation Research Board. (2016). *Highway Capacity Manual*.
- Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana. (2016). *Norma 3.1-IC Trazado*.

#### Diseño vial

- Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana. (2016). *Norma 3.1-IC Trazado*.
- Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana. (2013). *Norma 6.1-IC Secciones de firme*.
- Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana. (1999). *Norma 8.1-IC Señalización vertical*.
- Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana. (1987). *Norma 8.2-IC Señalización horizontal*.
- Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana. *Pliego de Prescripciones Técnicas Generales. PG-3*.

### Normas AENOR

- AENOR. Norma UNE-EN ISO 19650-1:2019 *Organización y digitalización de la información en obras de edificación e ingeniería civil que utilizan BIM (Building Information Modelling). Gestión de la información al utilizar BIM (Building Information Modelling). Parte 1*. (2019).
- AENOR. Norma PNE-EN ISO 19650-2 *Organización y digitalización de la información en obras de edificación e ingeniería civil que utilizan BIM (Building Information Modelling). Gestión de la información al utilizar BIM (Building Information Modelling). Parte 2*. (2018).



## BIM

### Guías

- BuildingSMART Spanish Chapter. (2014). *Guía de usuarios BIM*
- BuildingSMART Spanish Chapter. (2019). *Introducción a la serie EN-ISO 19650 Partes 1 y 2*
- es.BIM. (2018). *Guía para la elaboración del Plan de Ejecución BIM*
- es.BIM. (2018). *Guía de Modelado de Arquitectura*
- es.BIM. (2018). *Guía de Uso de Modelos para Gestión de Costes*
- EUBIM TASKGROUP. (2017). *Manual para la introducción de la metodología BIM por parte del sector público europeo. Unión Europea, 85.*

### Informes

- BuildingSMART Spanish Chapter. (2020). *Memoria Anual 2020.*
- BuildingSMART Spanish Chapter. (2019). *Estudio Macro de Adopción BIM en España.*
- es.BIM. (2021). *Observatorio de Licitaciones.*

### Revistas

- BuildingSMART Spanish Chapter. (2014). Spanish journal of BIM. *Spanish journal of BIM, 18/01.*

### Artículos

- Alonso, J. (2017). Nivel de desarrollo LOD. Definiciones, innovaciones y adaptación a España. *Spanish Journal of Building Information Modeling, ISSN-e 2386-5784, No. 15, 1, 2015, págs. 40-56.*
- Chong, H. Y., Lopez, R., Wang, J., Wang, X., & Zhao, Z. (2016). Comparative Analysis on the Adoption and Use of BIM in Road Infrastructure Projects. *Journal of Management in Engineering, 32(6), 1-13.*
- Costin, A., Adibfar, A., Hu, H., & Chen, S. S. (2018). Building Information Modeling (BIM) for transportation infrastructure – Literature review, applications, challenges, and recommendations. *Automation in Construction, 94, 257-281.*

- Grupo de Investigación en Ingeniería de Carreteras (GIIC). (2016). *Diseño y Desarrollo de Tecnologías BIM para Validación y Gestión de Proyectos Constructivos de Carreteras, su Explotación y la Gestión de la Seguridad de Dichas Infraestructuras Viarias* (p. 11). p. 11.
- Moya Sala, Q., García, A., Camacho Torregosa, F. J., & Campoy Ungría, J. (2017). *BIM para infraestructuras de carreteras: Verificación de la normativa de diseño geométrico*. 9.
- Omoregie, A., & Turnbull, D. E. (2016). Highway infrastructure and building information modelling in UK. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers: Municipal Engineer*, 169(4), 220-232.
- Park, T. (2014). Project Cost Estimation of National Road in Preliminary Feasibility Stage Using BIM/GIS Platform. *Computing in Civil and Building Engineering*, 423-430.

#### Trabajos académicos

- Montagud Andres, A. (2018). *Metodología BIM para Proyectos de Ingeniería Civil*. Universitat Politècnica de València.
- Paz García, M.G. (2019). *Aplicación de la metodología Building Information Modeling (BIM) en el diseño de una glorieta en la carretera CV-310 PK 15+750 en la provincia de Valencia*. Universitat Politècnica de València.
- Pérez González, L. A. (2019). *Posibilidades de la metodología BIM en la ingeniería civil*. Universitat Politècnica de València.

## **Anexo 1: Listados del estudio del tráfico**

Con el presente proyecto se entrega un Excel en formato .xls en el que se incluyen todos los cálculos y resultados que corresponden al Estudio del Tráfico.



## **Anexo 2: Listados del diseño geométrico**

EJE ROTONDA

=====  
\* \* \* LISTADO DE LAS ALINEACIONES \* \* \*  
=====

DATO TIPO	LONGITUD	P.K.	X TANGENCIA	Y TANGENCIA	RADIO	PARAMETRO	AZIMUT	Cos/Xc/Xinf	Sen/Yc/Yinf
1 CIRC.	125.660	0.000	337749.118	3101863.704	-20.000		0.0000	337729.118	3101863.704
		125.660	337749.118	3101863.700			0.0118		

⬆  
# EJES EN PLANTA  
#-----  
# Num Eje P.K. inicial N.Palabras Titulo del Eje  
#-----  
EJE 2 0.000000 1 ROTONDA  
REV 2104  
ALIAS4 N-634  
GRUPO 1  
TIPO 401  
CM 2  
CAR 1  
VD 80.000  
MD 0  
RV 21.07 2610 (2021/07/05)  
VU 0 80.000  
NCE 1.000  
ACE 3.500

#-----  
#Anchos derecha derecha izquierda izquierda  
#-----  
ANCHOS 0.000 0.000 0.000 0.000

#	Tipo	clave	X (L ant)	Y (dL ant)	R	A1	A2	A	L	D	Az	Etiqu	Peralte
#													
	ALI FIJA-C+R	5	337729.118126	3101863.704174	-20.000000	0.000000	0.000000	0.000000	125.660000	0.000000	0.000000	0	0.000 0 0 0.000 0.000 0

EJE RAMAL SUR

=====  
\* \* \* LISTADO DE LAS ALINEACIONES \* \* \*  
=====

DATO TIPO	LONGITUD	P.K.	X TANGENCIA	Y TANGENCIA	RADIO	PARAMETRO	AZIMUT	Cos/Xc/Xinf	Sen/Yc/Yinf
1 RECTA	31.037	0.000	337726.497	3101773.648			10.0901	0.1578327	0.9874659
2 CIRC.	25.008	31.037	337731.396	3101804.296	-100.000		10.0901	337632.649	3101820.079
3 RECTA	16.036	56.044	337732.230	3101829.224			394.1698	-0.0914519	0.9958095
		72.080	337730.763	3101845.193			394.1698		

⬆  
# EJES EN PLANTA  
#-----  
# Num Eje P.K. inicial N.Palabras Titulo del Eje  
#-----  
EJE 3 0.000000 2 RAMAL SUR  
REV 2104  
ALIAS4 N-634  
GRUPO 1  
TIPO 401  
CM 2  
CAR 1



VD 80.000  
MD 0  
RV 21.07 2610 (2021/07/05)  
VU 0 80.000  
NCE 1.000  
ACE 3.500

#-----

#Anchos derecha derecha izquierda izquierda

#-----

ANCHOS 0.000 0.000 0.000 0.000

#-----

# Tipo clave X (L ant) Y (dL ant) R A1 A2 A L D Az Etiq Peralte

#-----

ALI FIJA-2P+R 0 337726.497063 3101773.648177 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0 0.000 0 0 0.000 0.000 0

ALI FLOTANTE 8 0.000000 0.000000 -100.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0 0.000 0 0 0.000 0.000 0

ALI FIJA-2P+R 0 337732.240343 3101829.111853 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0 0.000 0 0 0.000 0.000 0

337730.763499 3101845.193037

EJE RAMAL NORTE

=====  
\* \* \* LISTADO DE LAS ALINEACIONES \* \* \*  
=====

DATO TIPO	LONGITUD	P.K.	X TANGENCIA	Y TANGENCIA	RADIO	PARAMETRO	AZIMUT	Cos/Xc/Xinf	Sen/Yc/Yinf
1 CIRC.	17.578	0.000	337842.545	3101997.147	-250.000		259.6392	337990.635	3101795.729
2 CIRC.	83.167	17.578	337828.761	3101986.246	-300.000		255.1630	338023.010	3101757.626
3 RECTA	56.877	100.744	337773.607	3101924.354			237.5145	-0.5557597	-0.8313430
		157.622	337741.997	3101877.069			237.5145		

↑

# EJES EN PLANTA

#-----

# Num Eje P.K. inicial N.Palabras Titulo del Eje

#-----

EJE 4 0.000000 3 RAMAL N ORTE

REV 2104

ALIAS4 N-634

GRUPO 1

TIPOL 401

CM 2

CAR 1

VD 80.000

MD 0

RV 21.07 2610 (2021/07/05)

VU 0 80.000

NCE 1.000

ACE 3.500

#-----

#Anchos derecha derecha izquierda izquierda

#-----

ANCHOS 0.000 0.000 0.000 0.000

#-----

# Tipo clave X (L ant) Y (dL ant) R A1 A2 A L D Az Etiq Peralte

#-----

ALI FIJA-2P+R 0 337842.544831 3101997.147083 -250.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0 0.000 0 0 0.000 0.000 0

ALI FLOTANTE 8 0.000000 0.000000 -300.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0 0.000 0 0 0.000 0.000 0

ALI FIJA-2P+R 0 337762.490950 3101907.725119 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0 0.000 0 0 0.000 0.000 0

337741.996993 3101877.068869

EJE RAMAL OESTE

=====

\* \* \*    LISTADO DE LAS ALINEACIONES    \* \* \*

=====

DATO	TIPO	LONGITUD	P.K.	X TANGENCIA	Y TANGENCIA	RADIO	PARAMETRO	AZIMUT	Cos/Xc/Xinf	Sen/Yc/Yinf
1	RECTA	80.979	0.000	337589.594	3101865.819			94.5474	0.9963344	0.0855439
2	CIRC.	35.562	80.979	337670.276	3101872.746	100.000		94.5474	337678.831	3101773.113
3	RECTA	10.965	116.542	337705.501	3101869.490			117.1870	0.9637780	-0.2667059
			127.507	337716.069	3101866.566			117.1870		



## # EJES EN PLANTA

#-----

#	Num Eje	P.K. inicial	N.Palabras	Titulo del Eje
---	---------	--------------	------------	----------------

#-----

EJE	5	0.000000	0
-----	---	----------	---

REV 2104

ALIAS4 N-634

GRUPO 1

TIPOL 401

CM 2

CAR 1

VD 80.000

MD      0

RV 21.07 2610 (2021/07/05)

VU 0 80.000

NCE 1.000

ACE 3.500

#-----

```
#Anchos  derecha  derecha  izquierda izquierda
```

#-----

ANCHOS	0.000	0.000	0.000	0.000
--------	-------	-------	-------	-------

#-----

#	Tipo	clave	X (L ant)	Y (dL ant)	R	A1	A2	A	L
---	------	-------	-----------	------------	---	----	----	---	---

[illegible]

ALI FIJA-2P+R	0	337589.593658	3101865.818736	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0	0.000	0 0	0.000	0.000 0
---------------	---	---------------	----------------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	---	-------	-----	-------	---------

337680.698782 3101873.640893

ALI FLOTANTE	8	0.000000	0.000000	100.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0	0.000	0 0	0.000	0.000 0
--------------	---	----------	----------	------------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	---	-------	-----	-------	---------

ALI FIJA-2P+R	0	337691.682587	3101873.314395	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0	0.000	0 0	0.000	0.000 0
---------------	---	---------------	----------------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	---	-------	-----	-------	---------

337716.069312 3101866.565867

EJE CAMINO 1

=====

\* \* \* LISTADO DE LAS ALINEACIONES \* \* \*

=====

DATO	TIPO	LONGITUD	P.K.	X TANGENCIA	Y TANGENCIA	RADIO	PARAMETRO	AZIMUT	Cos/Xc/Xinf	Sen/Yc/Yinf
1	RECTA	34.290	0.000	337612.337	3101905.917			195.4333	0.0716715	-0.9974283
			34.290	337614.795	3101871.716			195.4333		



# EJES EN PLANTA

#-----

#	Num Eje	P.K. inicial	N.Palabras	Titulo del Eje
---	---------	--------------	------------	----------------

#-----

EJE	6	0.000000	2 CAMINO 1
-----	---	----------	------------

REV 2104

ALIAS4 N-634

GRUPO 1

#-----

#-----

[illegible]

=====

\* \* \*    LISTADO   DE   LAS   ALINEACIONES   \* \* \*

=====

## # EJES EN PLANTA

# N = 5; D\_K = 1; N\_D = 1; T = 1; 1 1 5;

```

E1E      7      0 0000000      1 CAMTNO2

```

REV 2104

ALIAS4 N-634

GRUPO 1

TIPOL 401

CM 2

CAR 1

VD 80.000

FILE	0
BY	31 07 2010 (2021/07/05)

VII 0 80 000

NCE 1.000

ACE 3.500

##-----

```
#ANCHOS    del ecda    del ecda    izquierdo    izquierdo
"
```

ANCHOS	0 000	0 000	0 000	0 000
--------	-------	-------	-------	-------

#	Tipo	clave	X (L ant)	Y (dL ant)	R	A1	A2	A	L	D	Az	Etig	Peralte
---	------	-------	-----------	------------	---	----	----	---	---	---	----	------	---------

337675.211229 3101876.425960

=====

\* \* \*      RESUMEN DE MEDICIONES POR EJES      \* \* \*

=====

EJE	NOMBRE	D TIERRA	TERRAPLEN	FIRME	BORDILLO 14x20	BORDILLO 25x13
2	ROTONDA	495.1	227.0	701.5	0.8	3.4
3	RAMAL SUR	335.5	0.0	273.1	1.4	0.0
4	RAMAL NORTE	876.0	0.0	610.9	1.7	0.0
5	RAMAL OESTE	456.4	29.9	383.0	1.1	0.0
6	CAMINO 1	88.7	0.0	89.3	0.0	0.0
7	CAMINO 2	136.8	0.0	87.6	0.0	0.0
-----						
TOTAL		2388.5	256.9	2145.4	4.8	3.4

=====

\* \* \*      RESUMEN DE FIRMES POR EJES      \* \* \*

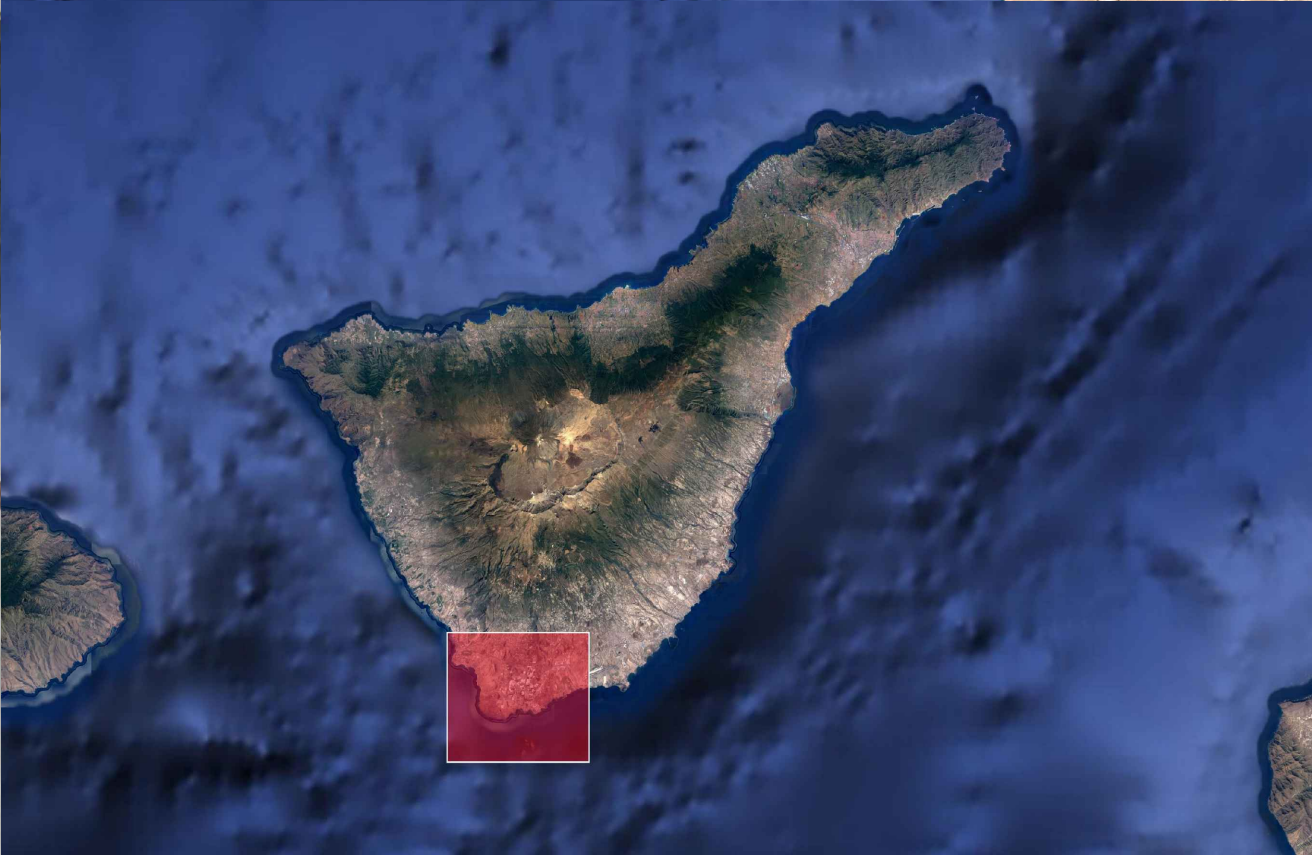
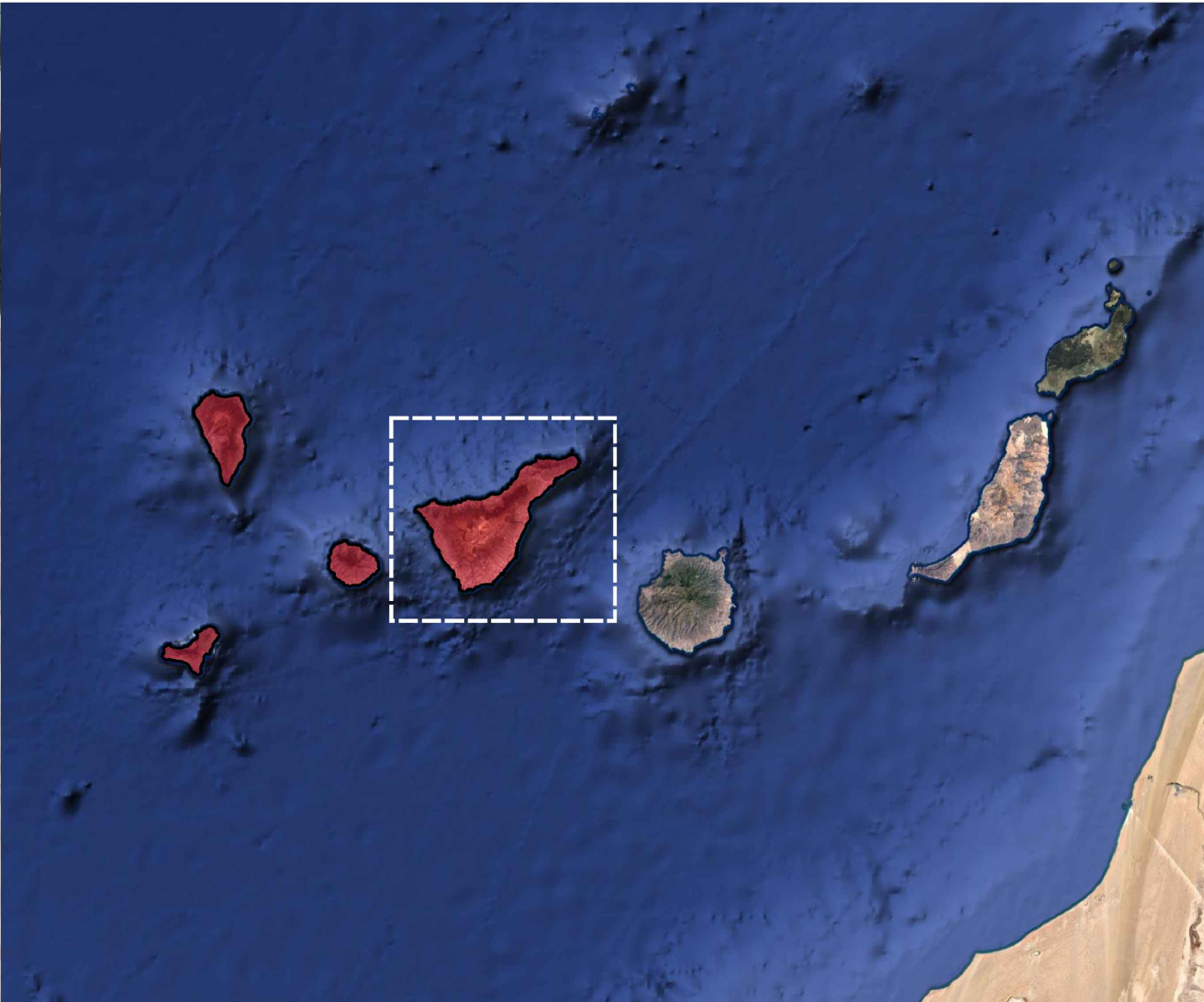
=====

EJE	SUELO CEMENT	AC-32	AC-22	Rellenos
2	293.2	133.1	109.3	165.9
3	150.4	68.4	54.0	0.4
4	337.1	153.2	120.1	0.4
5	211.6	95.8	75.5	0.2
6	49.1	22.3	17.8	0.0
7	48.2	21.9	17.5	0.0
-----				
TOTAL	1089.5	494.7	394.3	166.9

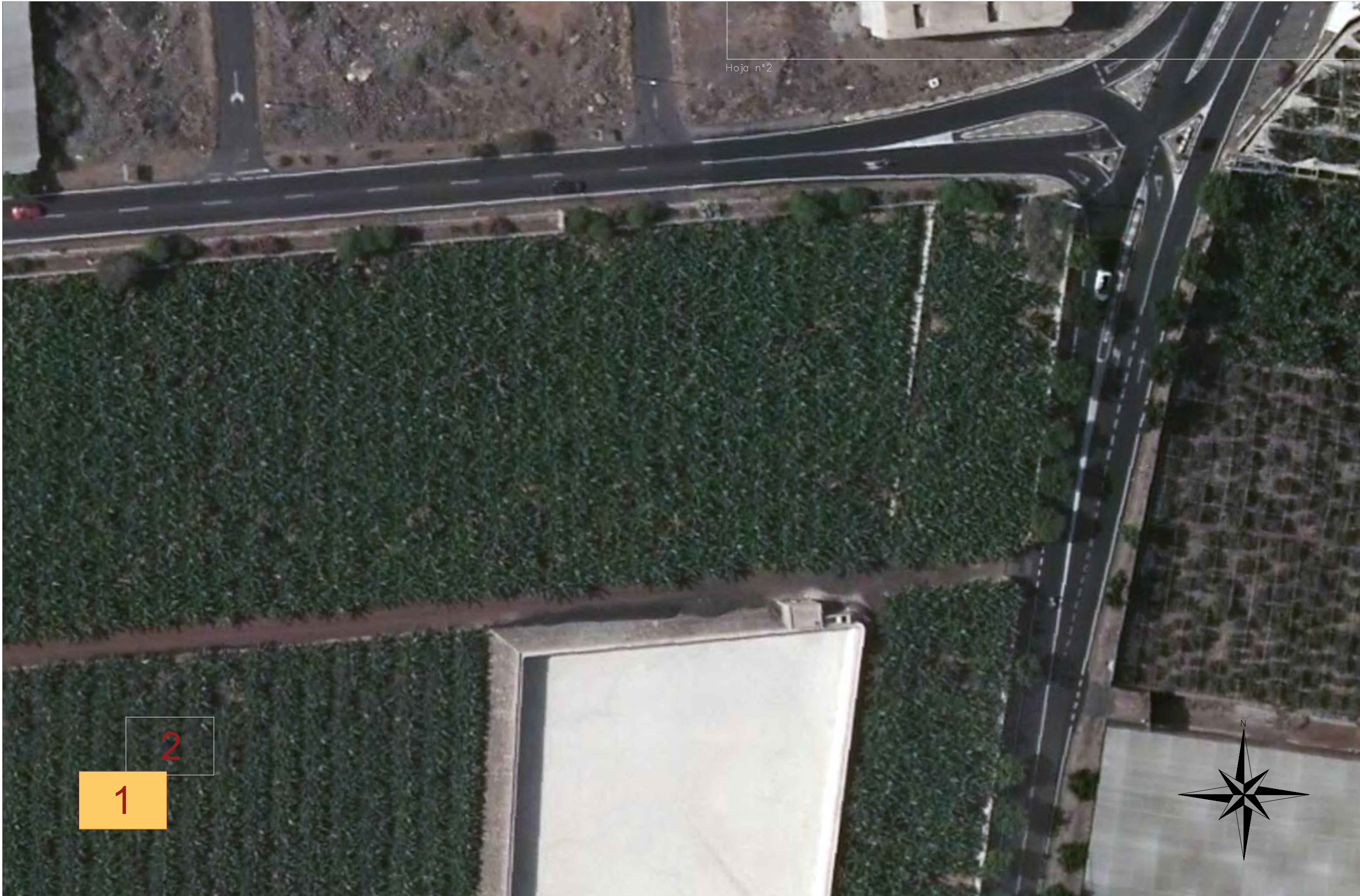


## Anexo 3: Planos









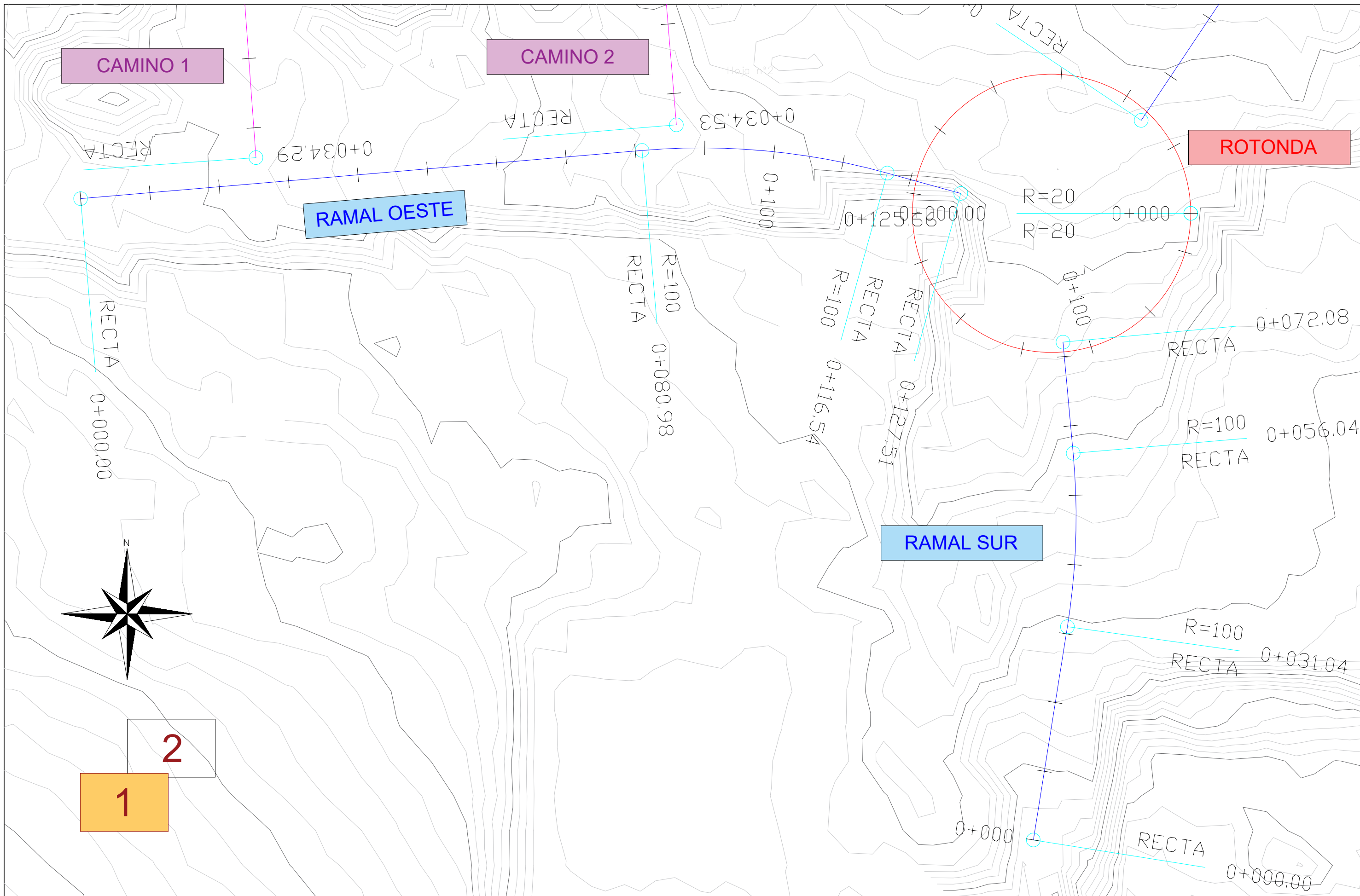




Hoja 1

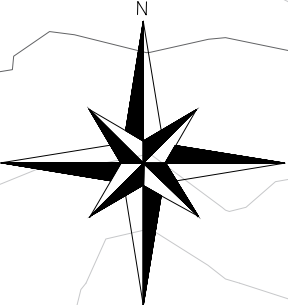






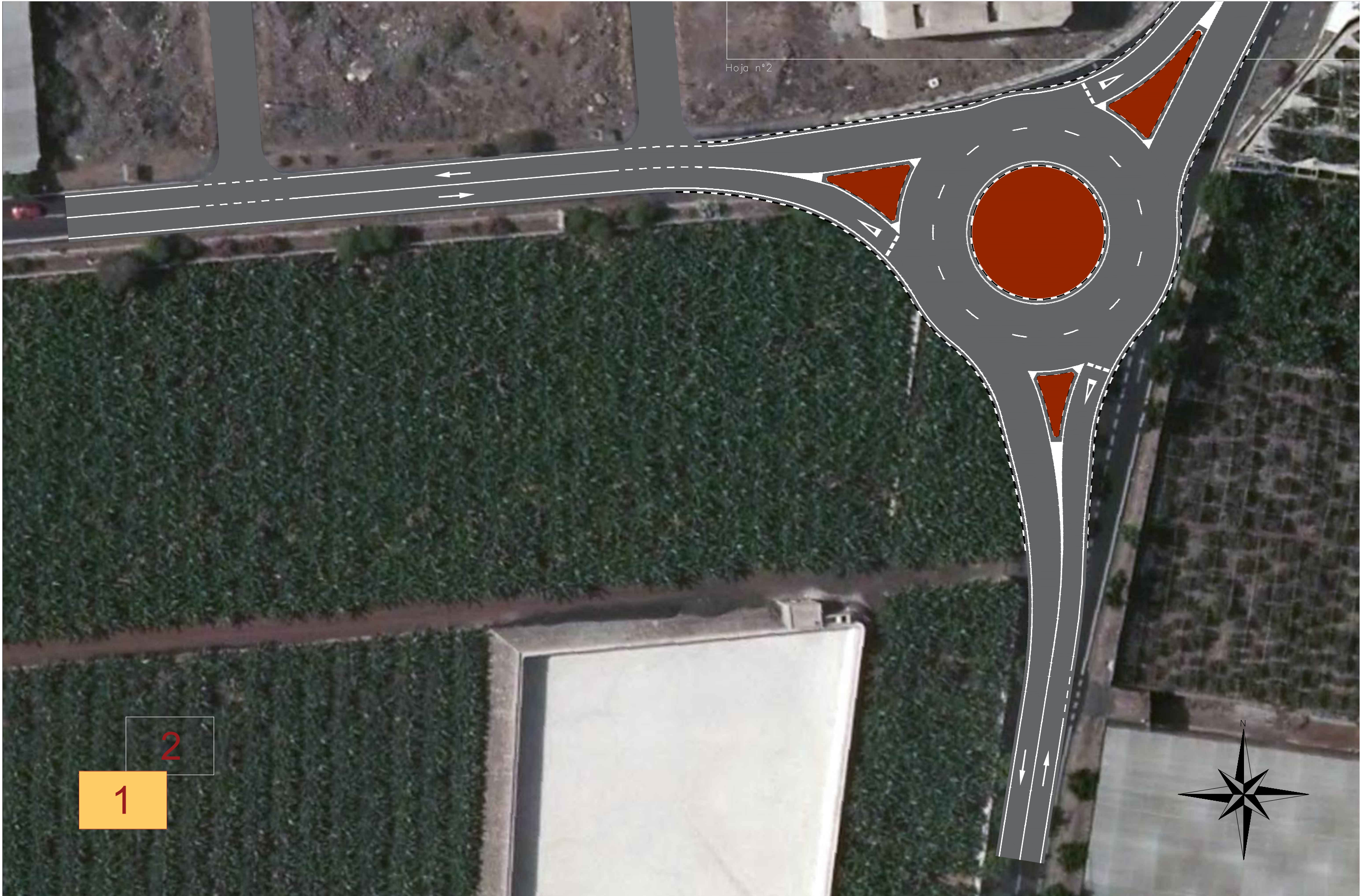


RAMAL NORTE



2  
1

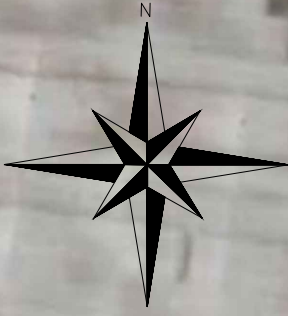




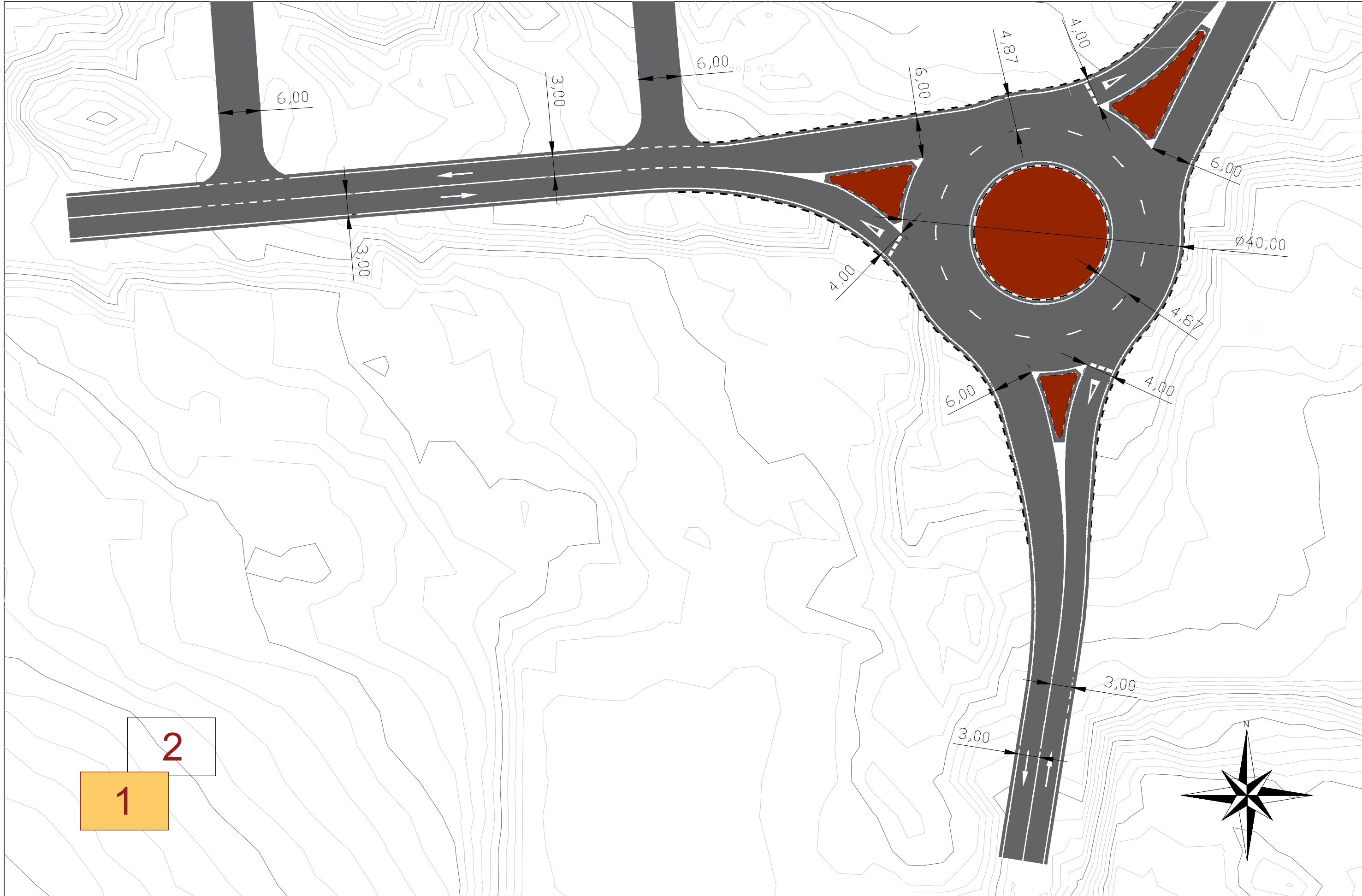




Hoja 1

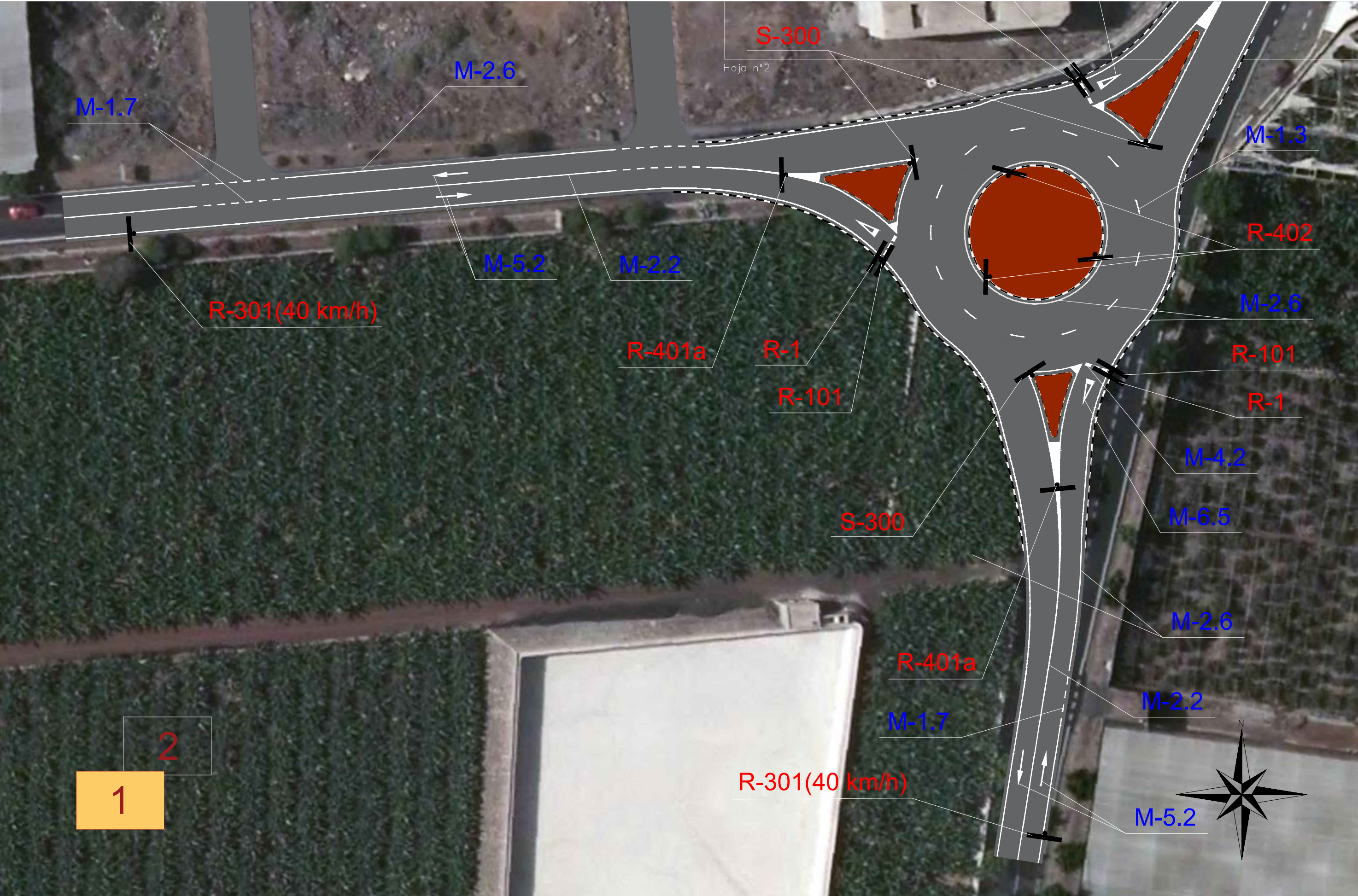








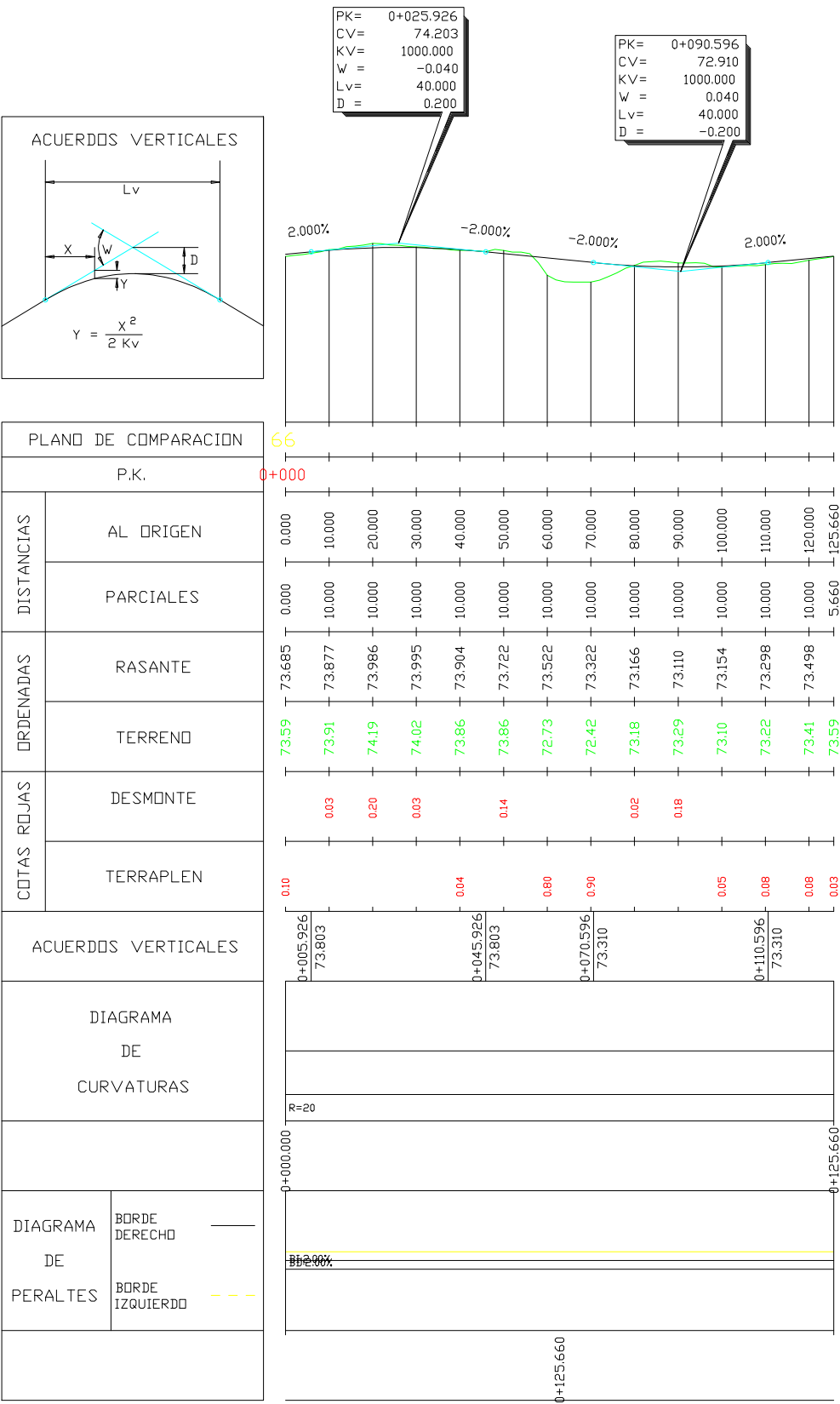




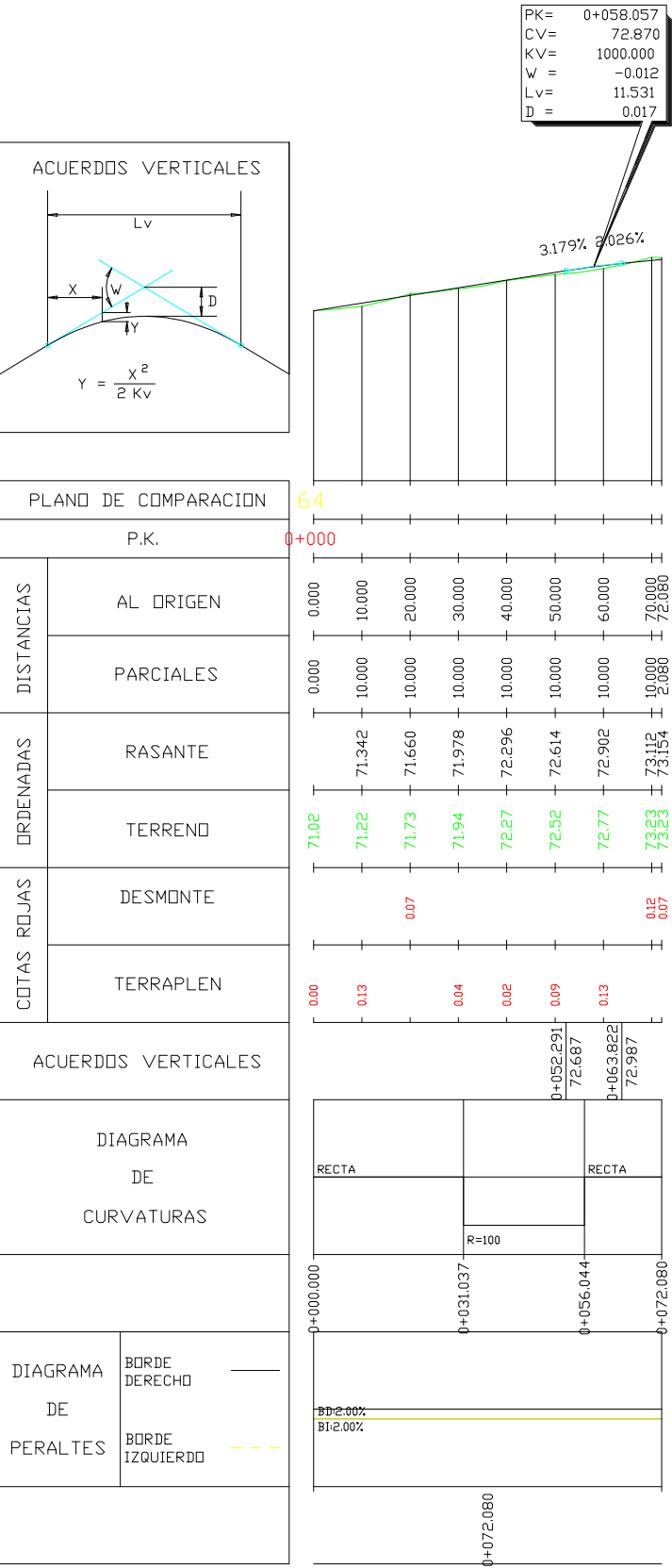




ROTONDA

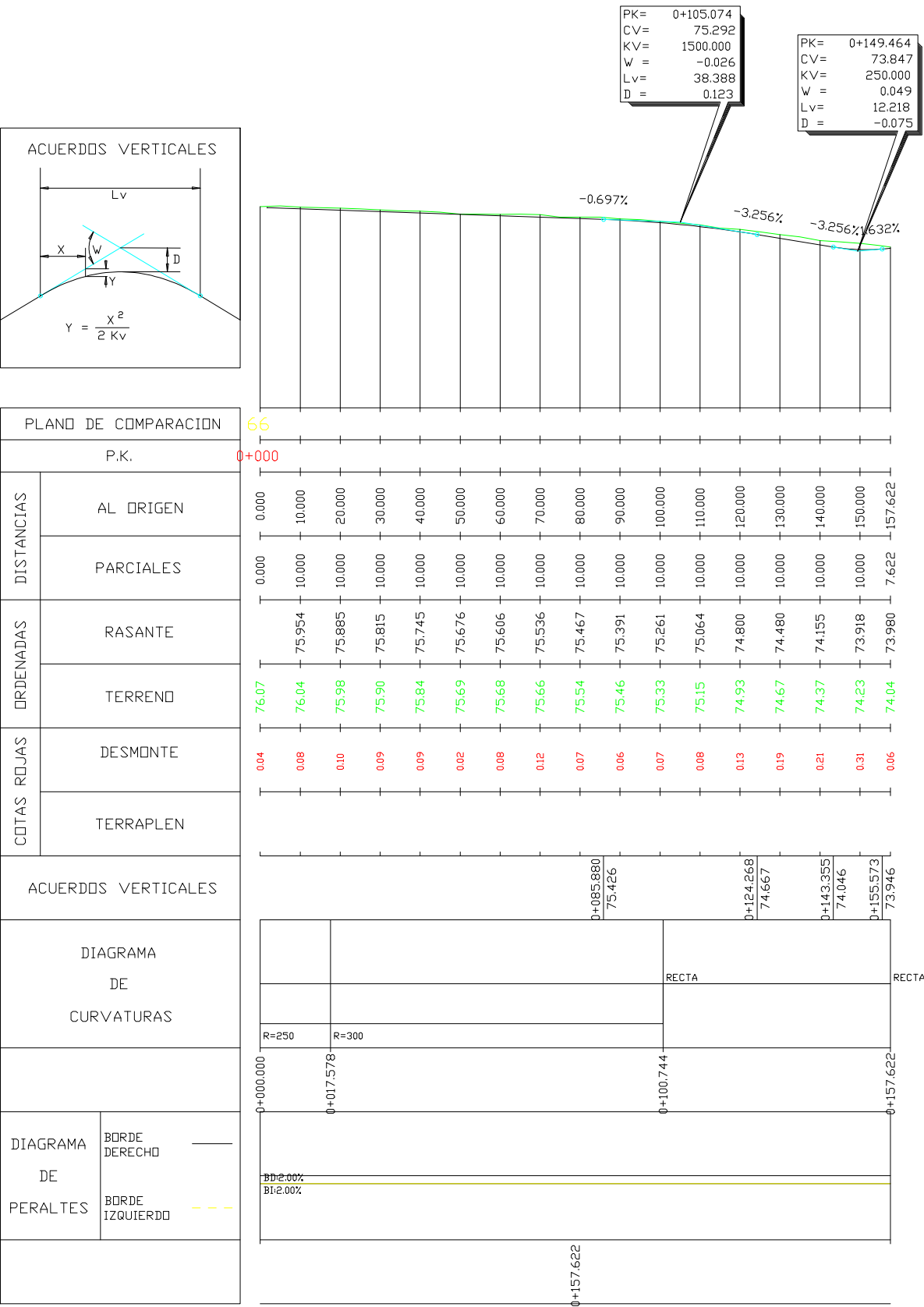


RAMAL SUR

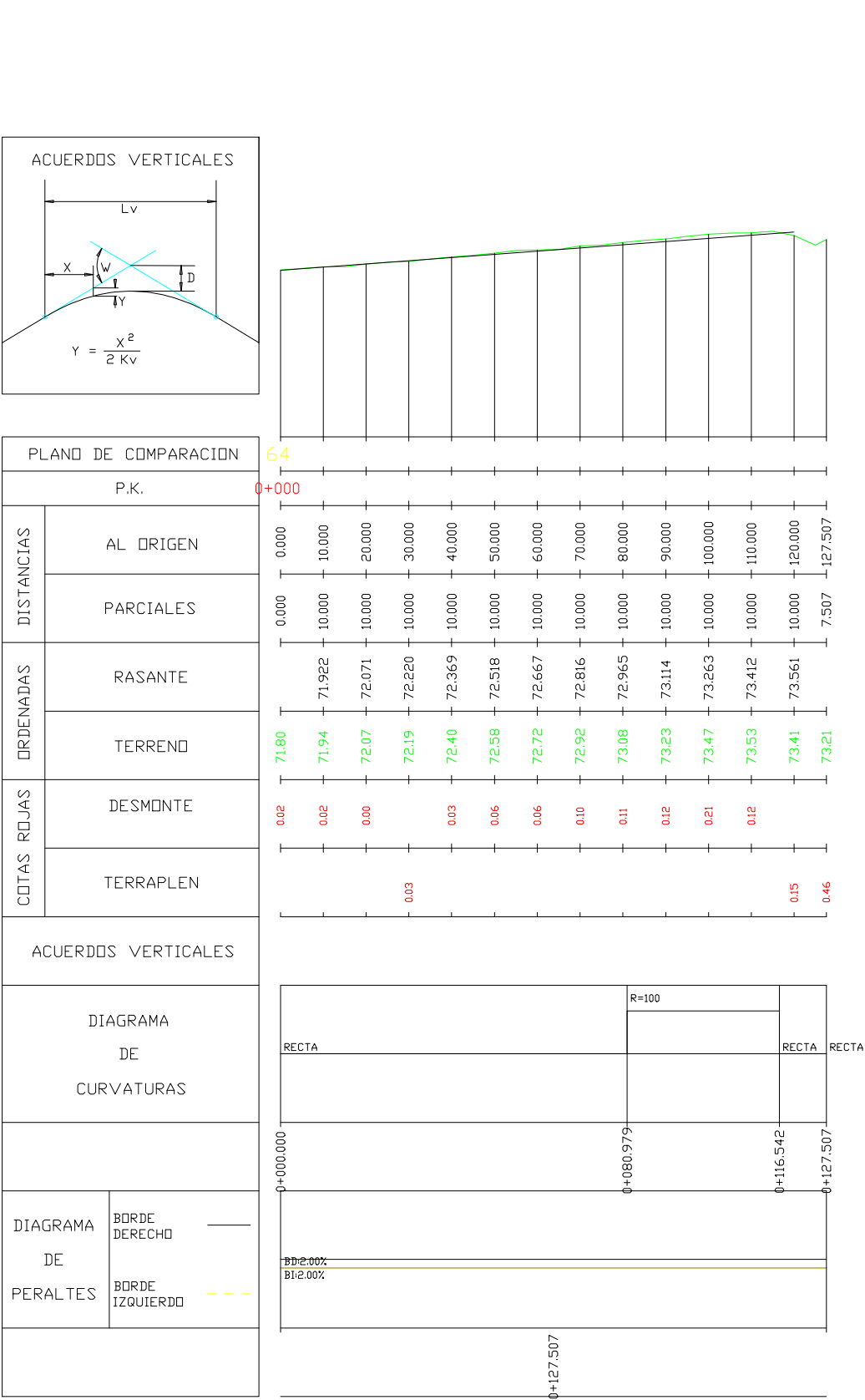




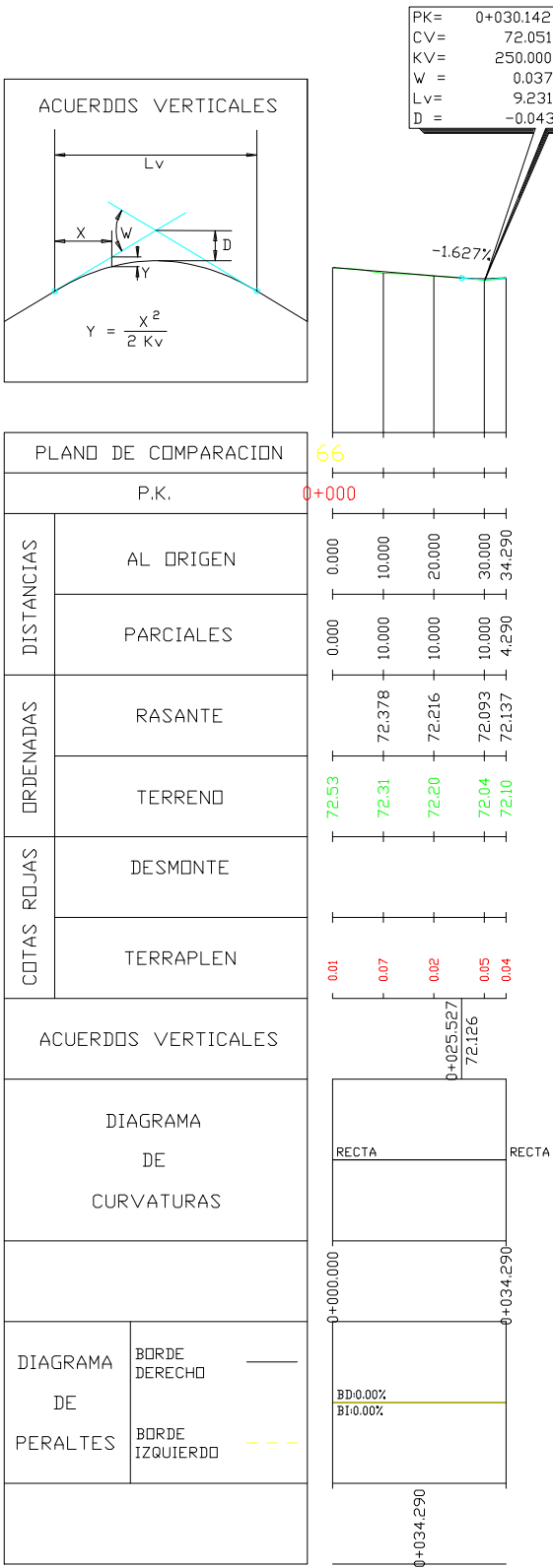
RAMAL NORTE



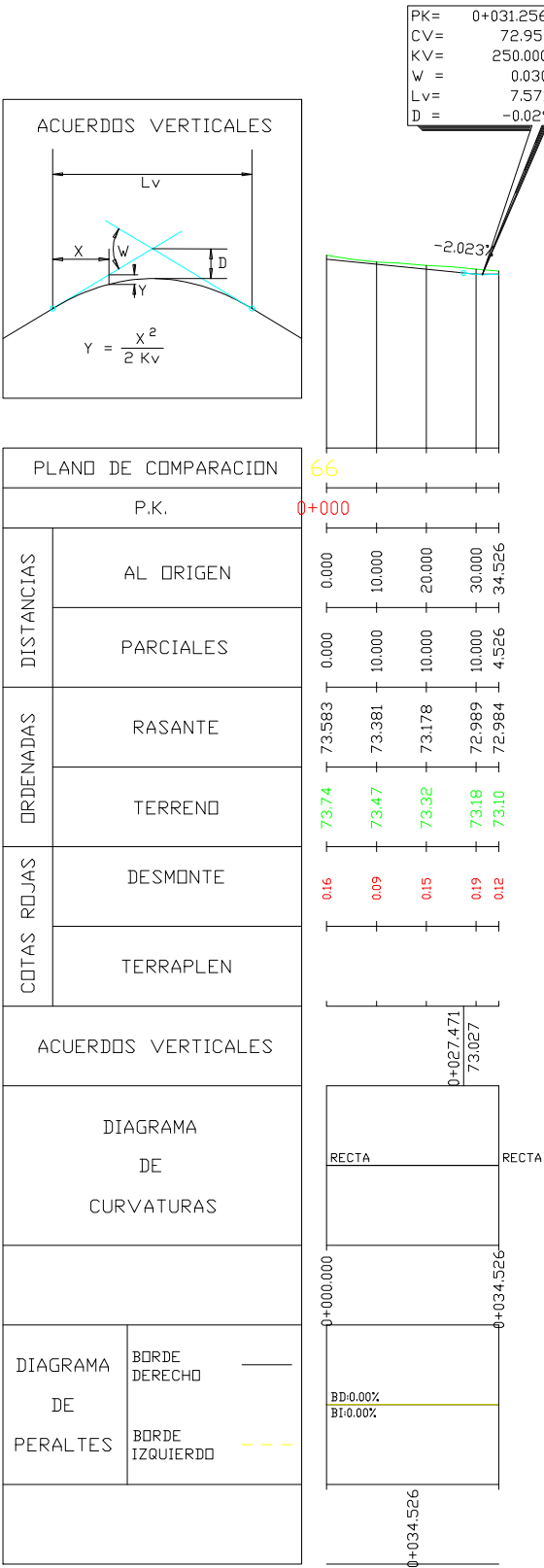
RAMAL OESTE

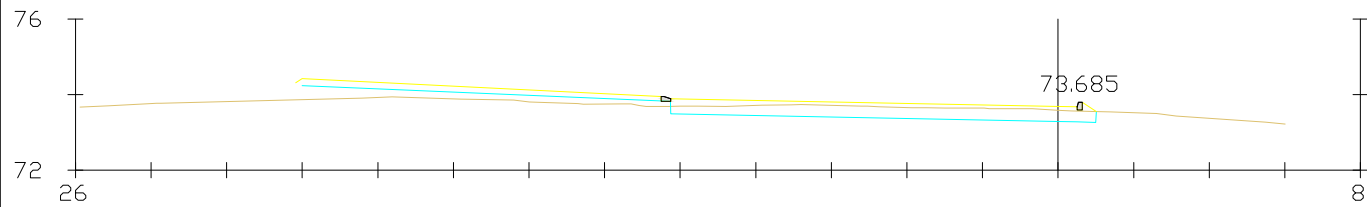


CAMINO 1



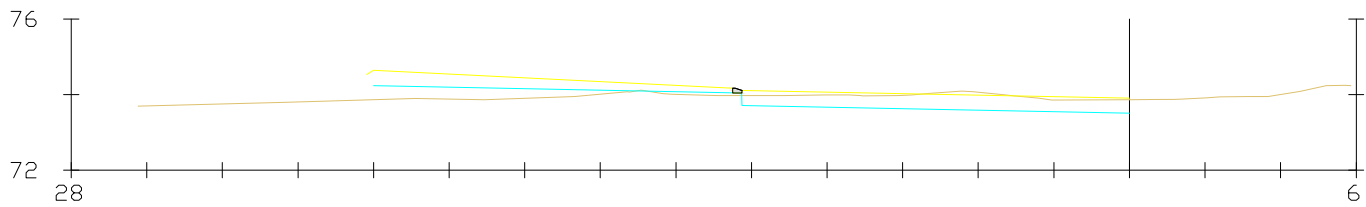
CAMINO 2





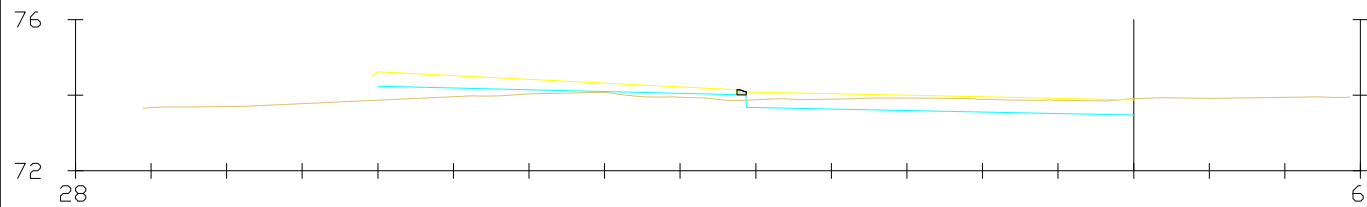
Pk=0+000

S. D TIERRA = 3.23 m2.  
S. BORDILLO 25x13 = 0.03 m2.  
S. TERRAPLEN = 1.89 m2.  
S. FIRME = 5.97 m2.  
S. BORDILLO 14x20 = 0.03 m2.



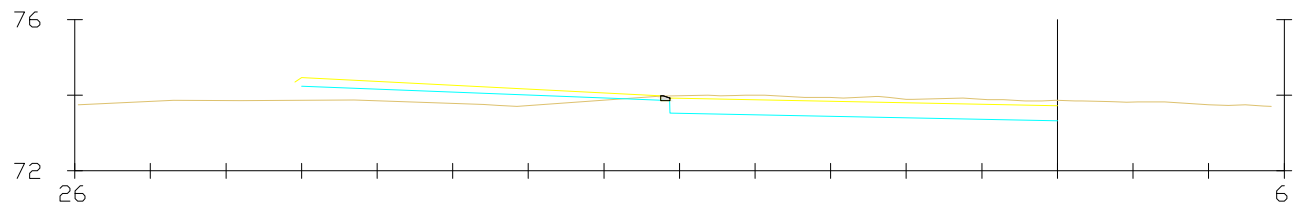
Pk=0+040

S. D TIERRA = 3.66 m2.  
S. BORDILLO 25x13 = 0.03 m2.  
S. TERRAPLEN = 1.84 m2.  
S. FIRME = 6.65 m2.



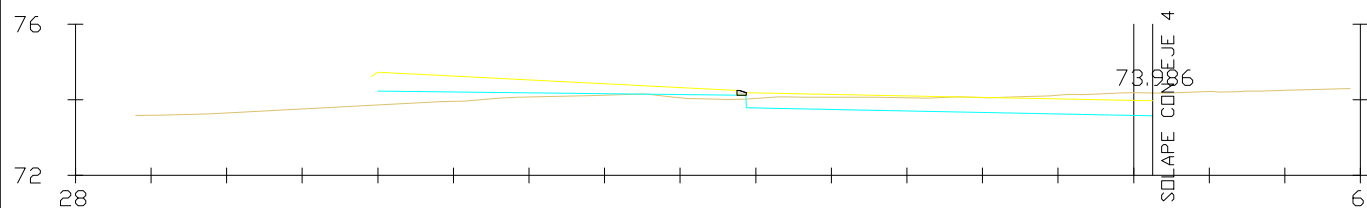
Pk=0+010

S. D TIERRA = 3.20 m2.  
S. BORDILLO 25x13 = 0.03 m2.  
S. TERRAPLEN = 1.50 m2.  
S. FIRME = 6.51 m2.



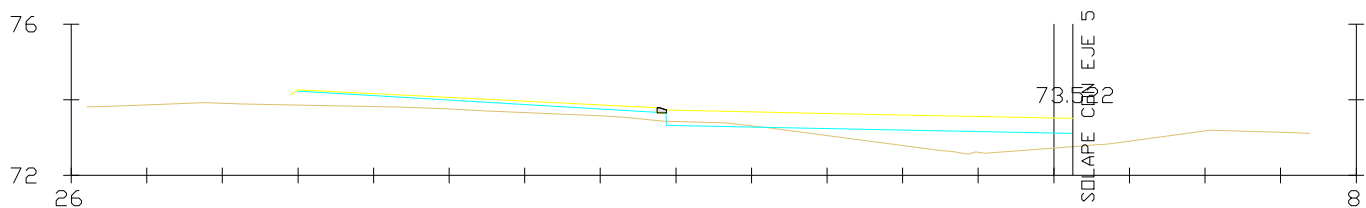
Pk=0+050

S. D TIERRA = 5.30 m2.  
S. BORDILLO 25x13 = 0.03 m2.  
S. TERRAPLEN = 2.20 m2.  
S. FIRME = 5.76 m2.



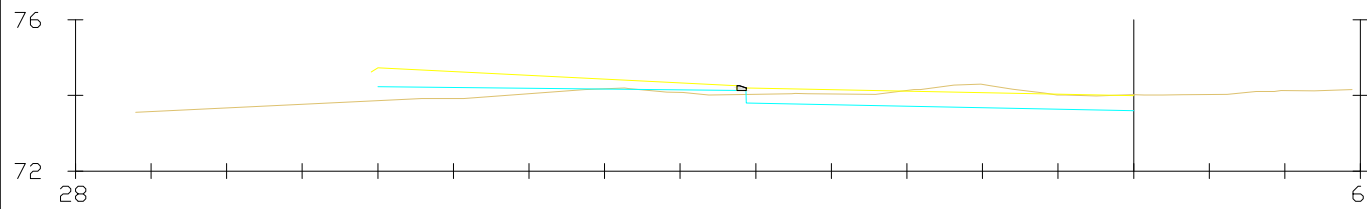
Pk=0+020

S. D TIERRA = 4.38 m2.  
S. BORDILLO 25x13 = 0.03 m2.  
S. TERRAPLEN = 1.37 m2.  
S. FIRME = 7.25 m2.



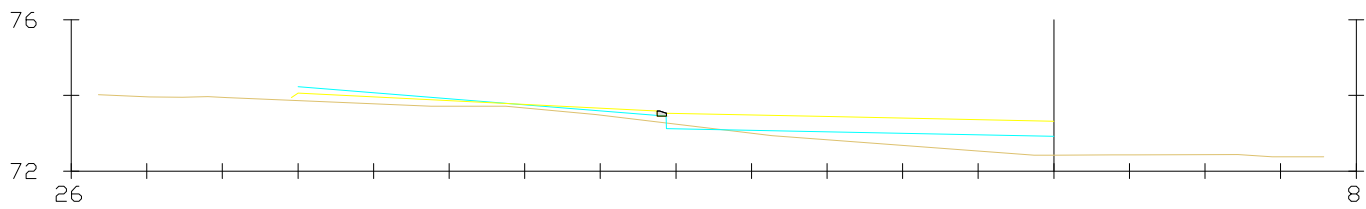
Pk=0+060

S. D TIERRA = 0.20 m2.  
S. BORDILLO 25x13 = 0.03 m2.  
S. TERRAPLEN = 5.33 m2.  
S. FIRME = 4.99 m2.



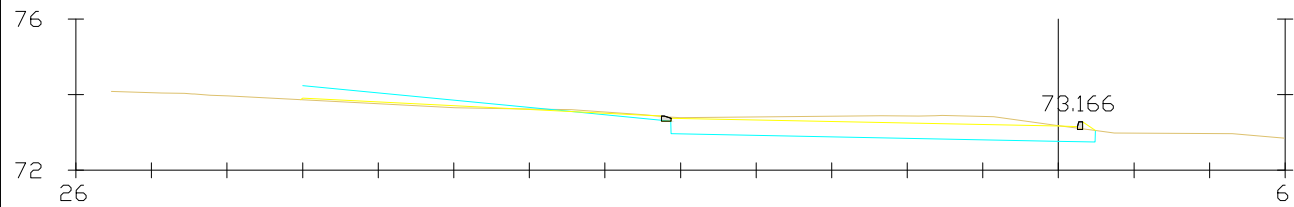
Pk=0+030

S. D TIERRA = 4.07 m2.  
S. BORDILLO 25x13 = 0.03 m2.  
S. TERRAPLEN = 1.45 m2.  
S. FIRME = 7.09 m2.



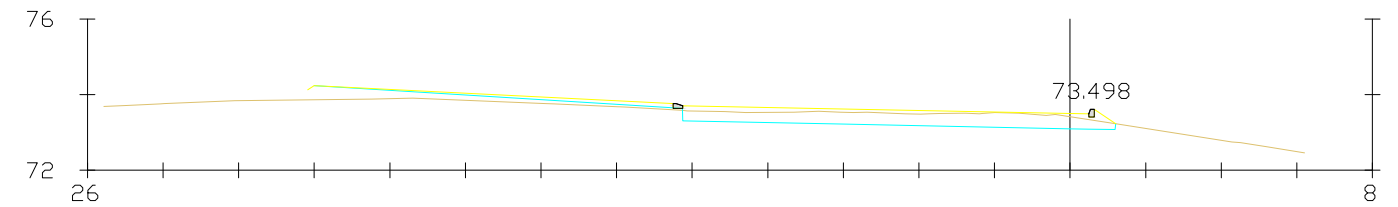
Pk=0+070

S. D TIERRA = 0.10 m2.  
S. BORDILLO 25x13 = 0.03 m2.  
S. TERRAPLEN = 4.46 m2.  
S. FIRME = 4.31 m2.



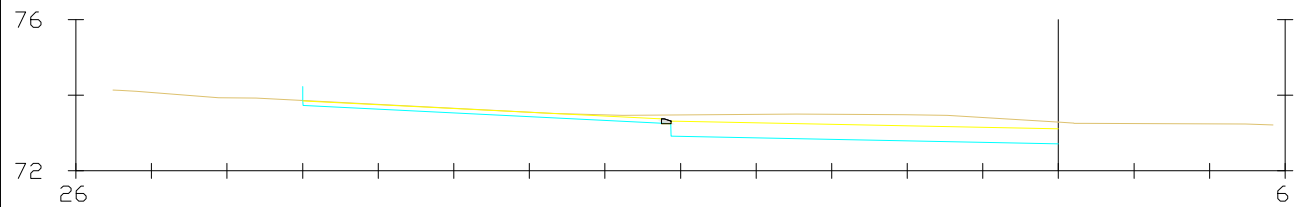
Pk=0+080

S. D TIERRA = 6.04 m2.  
S. BORDILLO 25x13 = 0.03 m2.  
S. TERRAPLEN = 1.39 m2.  
S. FIRME = 4.61 m2.  
S. BORDILLO 14x20 = 0.03 m2.



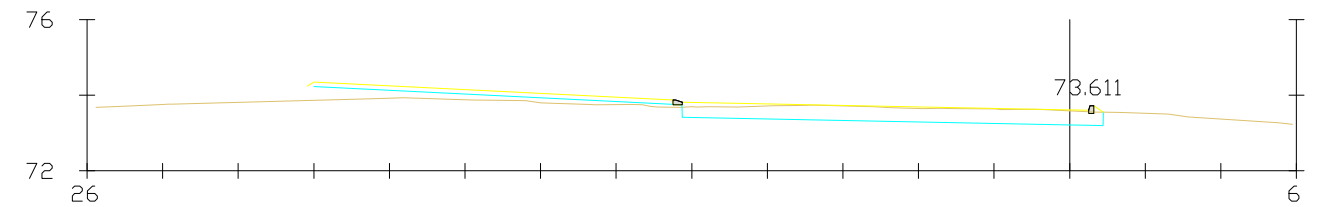
Pk=0+120

S. D TIERRA = 3.54 m2.  
S. BORDILLO 25x13 = 0.03 m2.  
S. TERRAPLEN = 1.39 m2.  
S. FIRME = 5.11 m2.  
S. BORDILLO 14x20 = 0.03 m2.



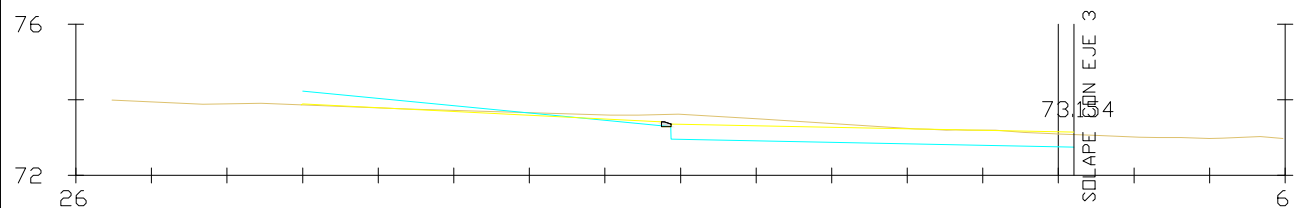
Pk=0+090

S. D TIERRA = 7.97 m2.  
S. BORDILLO 25x13 = 0.03 m2.  
S. TERRAPLEN = 0.00 m2.  
S. FIRME = 5.22 m2.



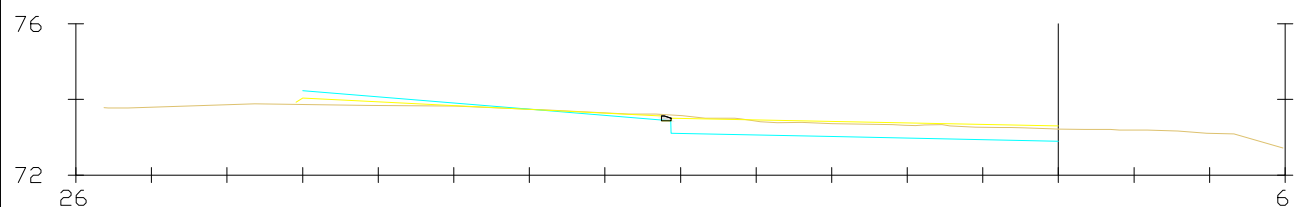
Pk=0+125.660

S. D TIERRA = 4.02 m2.  
S. BORDILLO 25x13 = 0.03 m2.  
S. TERRAPLEN = 1.53 m2.  
S. FIRME = 5.58 m2.  
S. BORDILLO 14x20 = 0.03 m2.



Pk=0+100

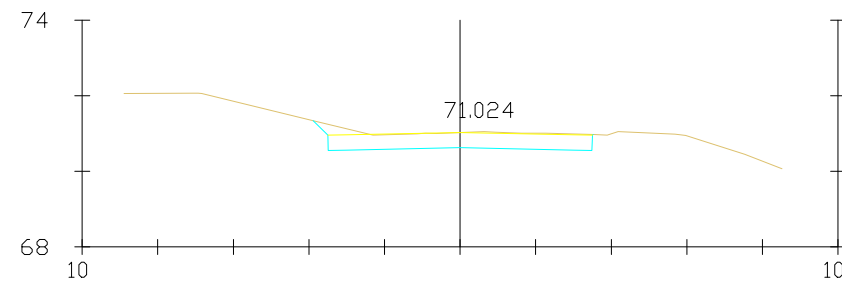
S. D TIERRA = 5.66 m2.  
S. BORDILLO 25x13 = 0.03 m2.  
S. TERRAPLEN = 1.11 m2.  
S. FIRME = 4.39 m2.



Pk=0+110

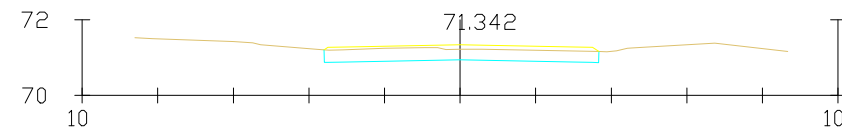
S. D TIERRA = 3.96 m2.  
S. BORDILLO 25x13 = 0.03 m2.  
S. TERRAPLEN = 0.98 m2.  
S. FIRME = 4.29 m2.





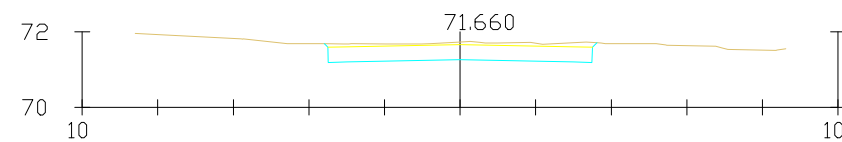
Pk=0+000

S. D TIERRA = 3.08 m2.  
S. FIRME = 2.80 m2.



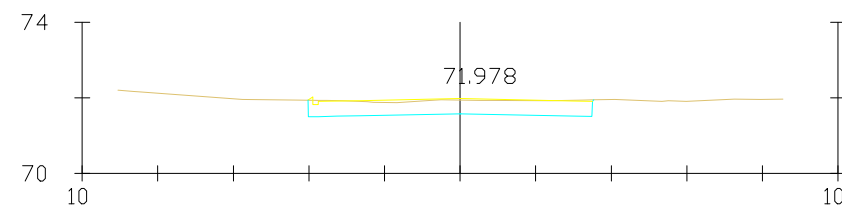
Pk=0+010

S. D TIERRA = 2.23 m2.  
S. FIRME = 2.89 m2.



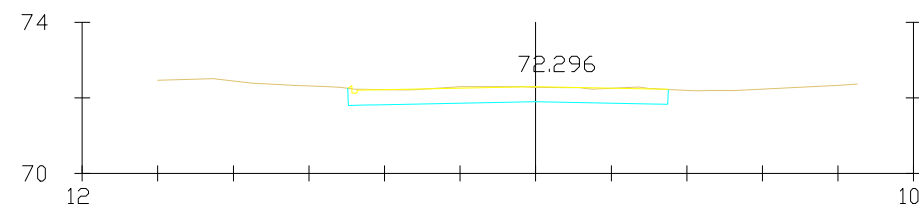
Pk=0+020

S. D TIERRA = 3.32 m2.  
S. FIRME = 2.80 m2.



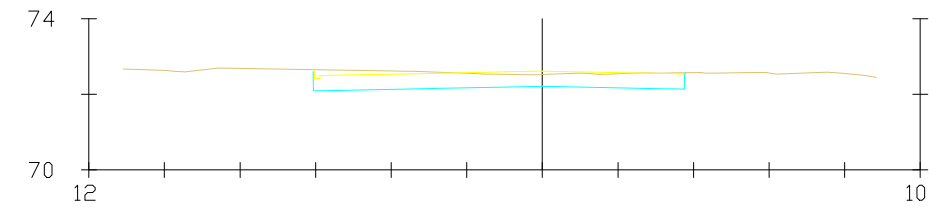
Pk=0+030

S. D TIERRA = 1.36 m2.  
S. FIRME = 1.40 m2.

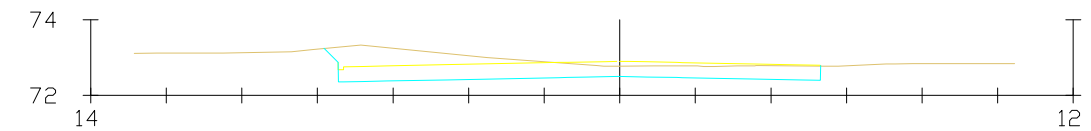


Pk=0+040

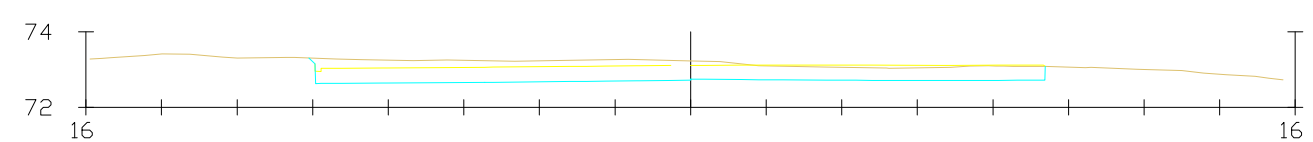
S. D TIERRA = 1.39 m2.  
S. FIRME = 1.40 m2.



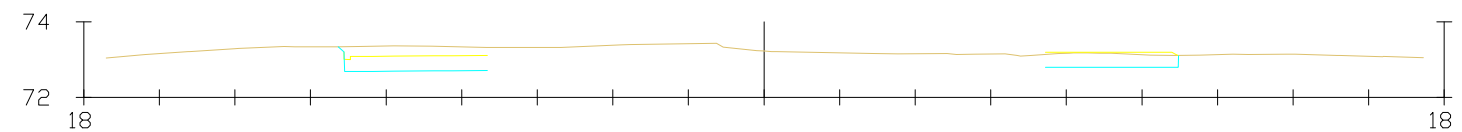
Pk=0+050



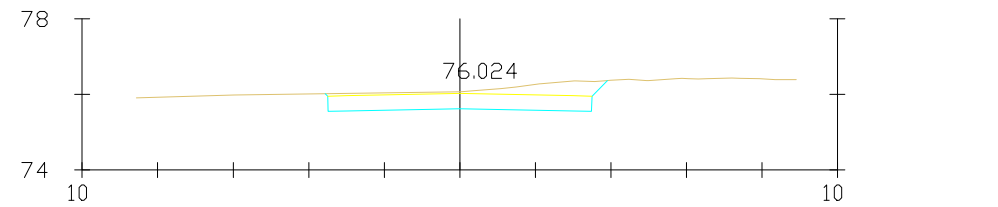
Pk=0+060



Pk=0+070

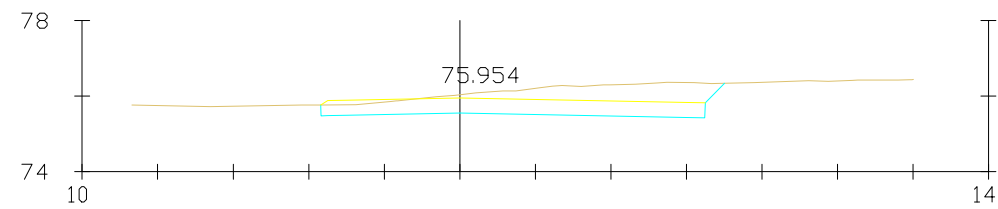


Pk=0+072.080



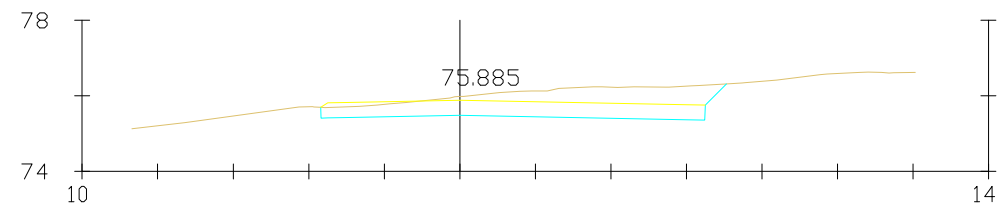
**Pk=0+000**

S. D TIERRA = 3.91 m2.  
S. FIRME = 2.80 m2.



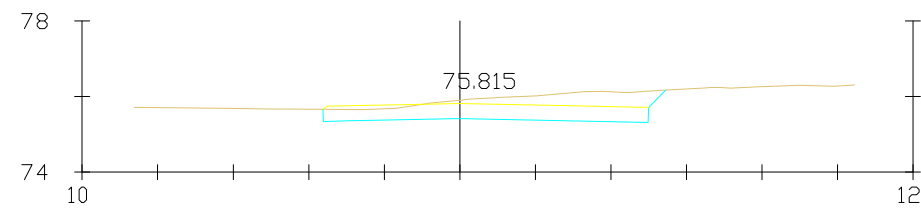
**Pk=0+010**

S. D TIERRA = 6.37 m2.  
S. FIRME = 4.06 m2.



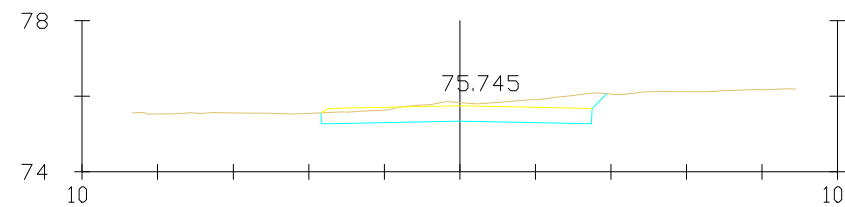
**Pk=0+020**

S. D TIERRA = 6.37 m2.  
S. FIRME = 4.06 m2.



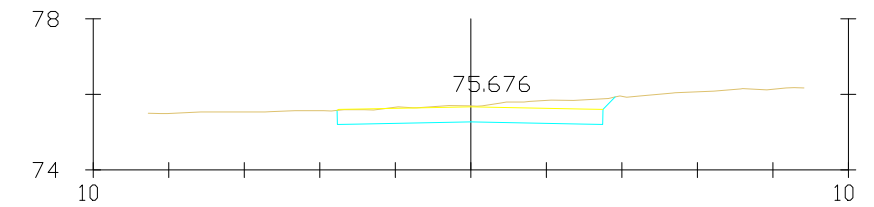
**Pk=0+030**

S. D TIERRA = 4.79 m2.  
S. FIRME = 3.44 m2.



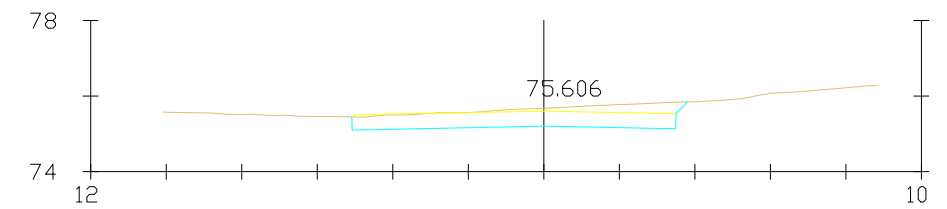
**Pk=0+040**

S. D TIERRA = 3.58 m2.  
S. FIRME = 2.86 m2.



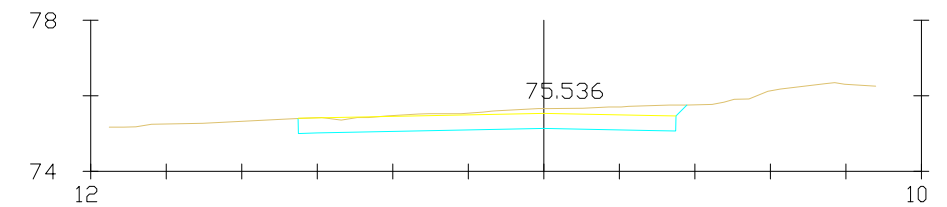
**Pk=0+050**

S. D TIERRA = 3.46 m2.  
S. FIRME = 2.81 m2.



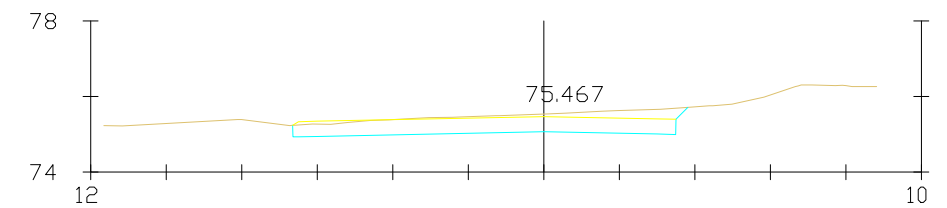
**Pk=0+060**

S. D TIERRA = 4.16 m2.  
S. FIRME = 3.43 m2.



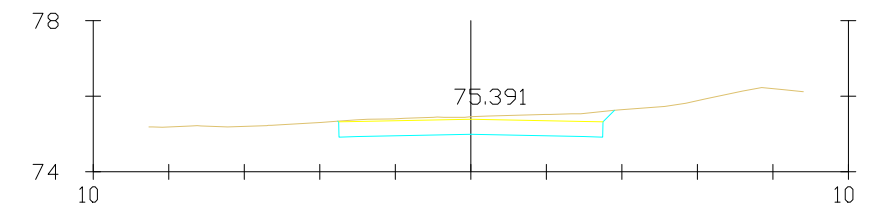
**Pk=0+070**

S. D TIERRA = 4.99 m2.  
S. FIRME = 4.00 m2.



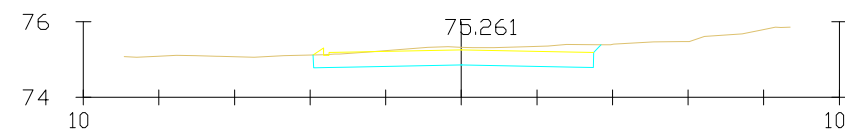
**Pk=0+080**

S. D TIERRA = 4.78 m2.  
S. FIRME = 4.05 m2.



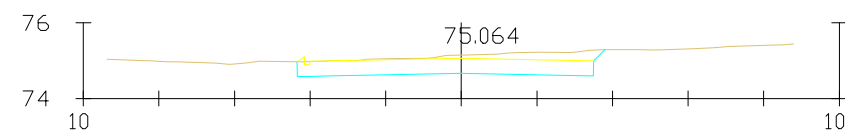
**Pk=0+090**

S. D TIERRA = 3.59 m2.  
S. FIRME = 2.80 m2.



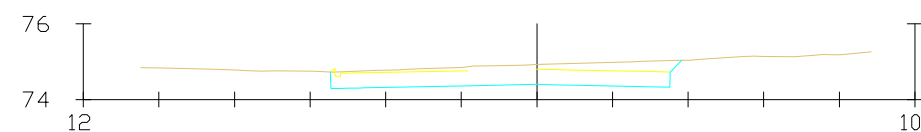
Pk=0+100

S. D TIERRA = 1.86 m2.  
S. FIRME = 1.40 m2.

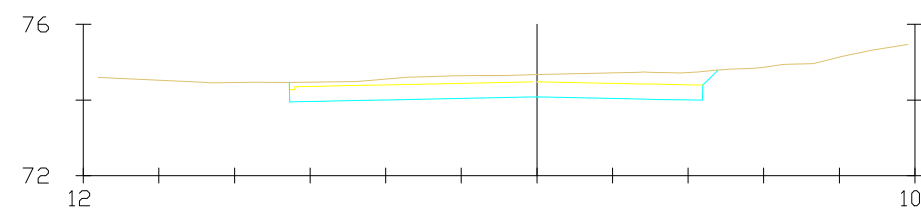


Pk=0+110

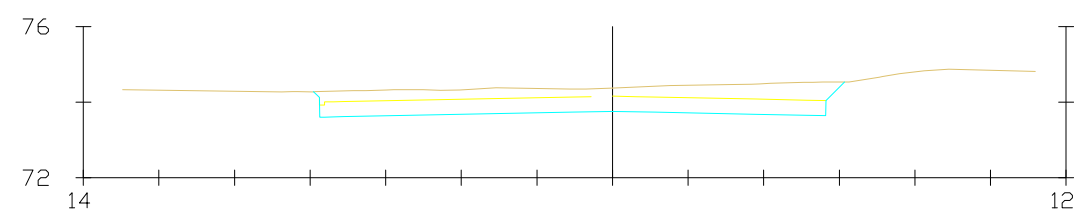
S. D TIERRA = 2.06 m2.  
S. FIRME = 1.40 m2.



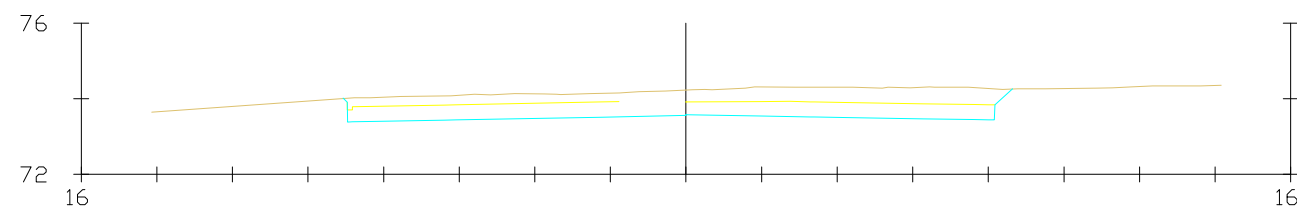
Pk=0+120



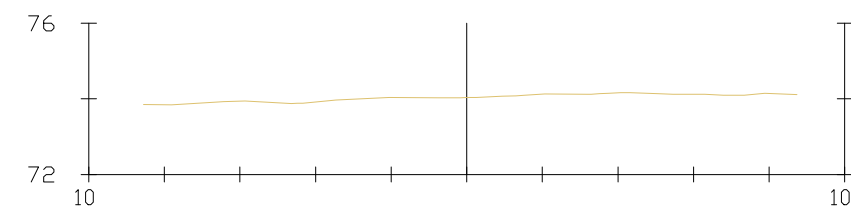
Pk=0+130



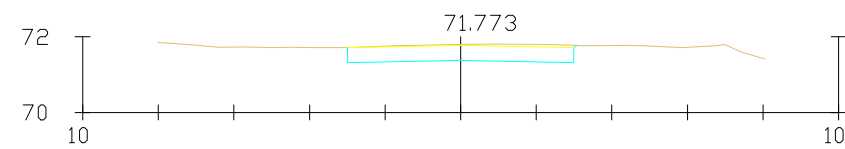
Pk=0+140



Pk=0+150

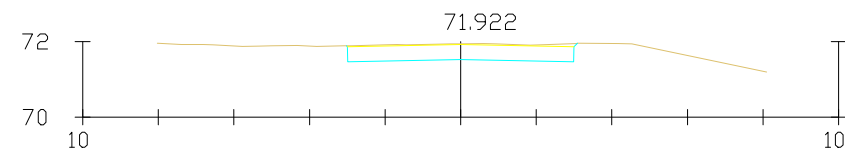


Pk=0+157.622



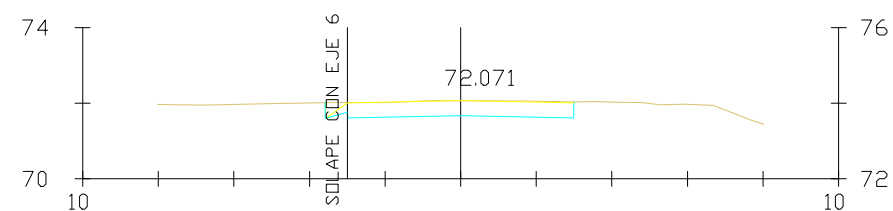
Pk=0+000

S. D TIERRA = 2.63 m2.  
S. FIRME = 2.40 m2.



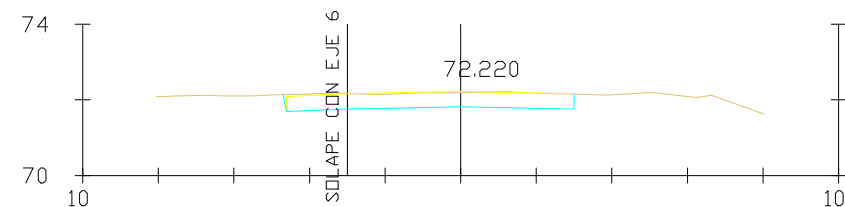
Pk=0+010

S. D TIERRA = 2.58 m2.  
S. FIRME = 2.40 m2.



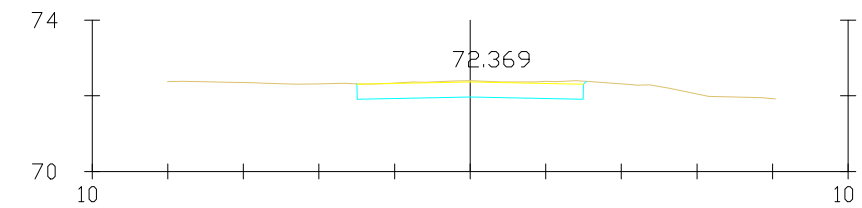
Pk=0+020

S. D TIERRA = 2.43 m2.  
S. FIRME = 2.40 m2.



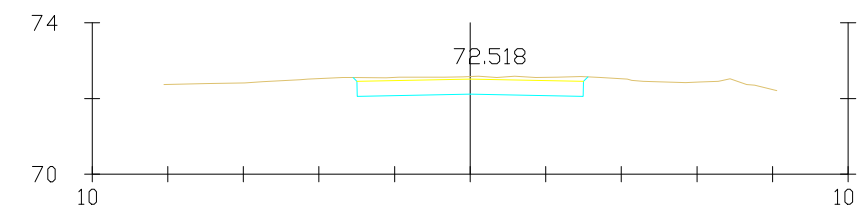
Pk=0+030

S. D TIERRA = 2.34 m2.  
S. FIRME = 2.40 m2.



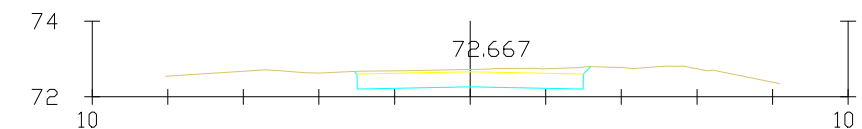
Pk=0+040

S. D TIERRA = 2.57 m2.  
S. FIRME = 2.40 m2.



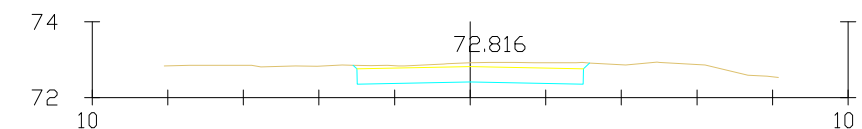
Pk=0+050

S. D TIERRA = 2.88 m2.  
S. FIRME = 2.40 m2.



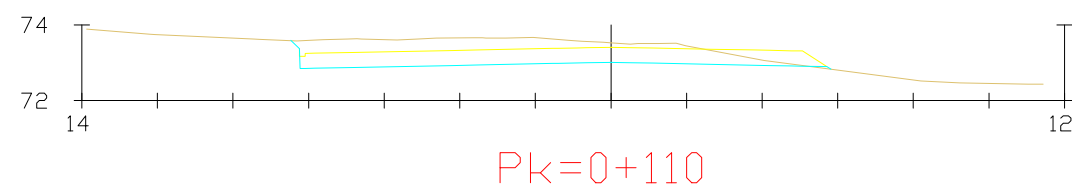
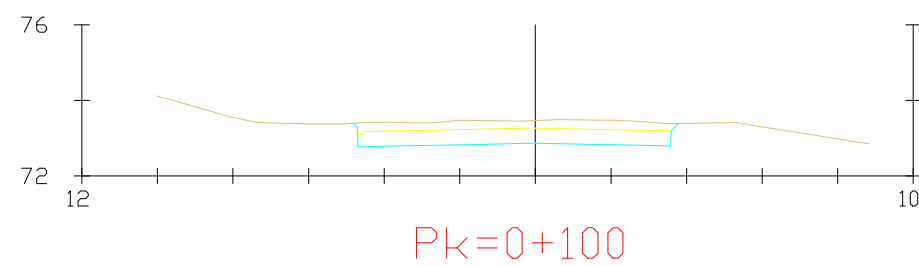
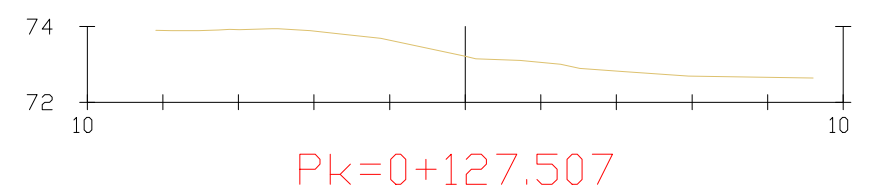
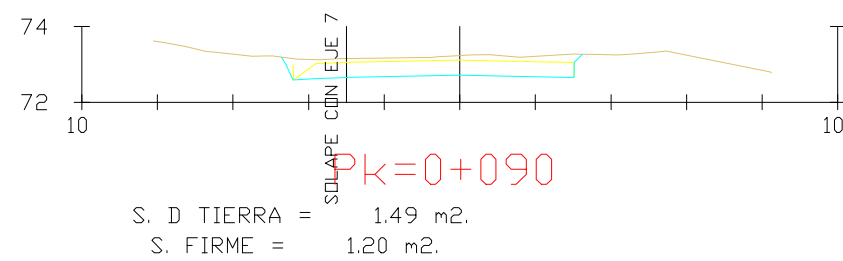
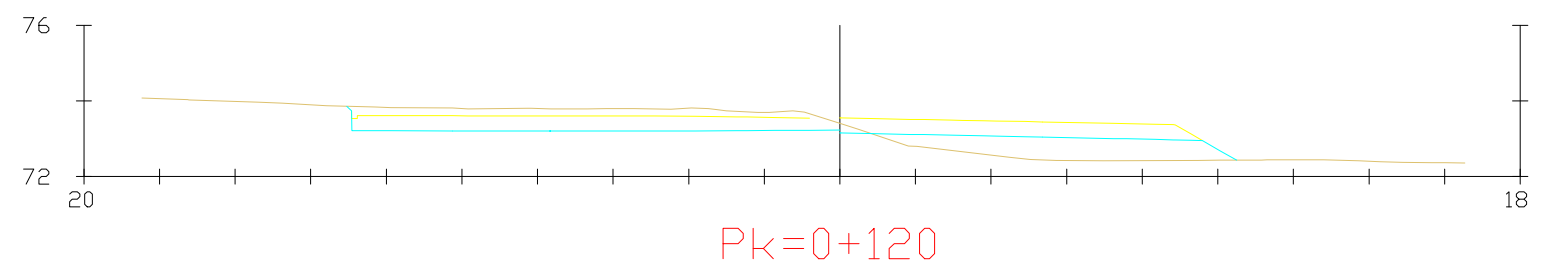
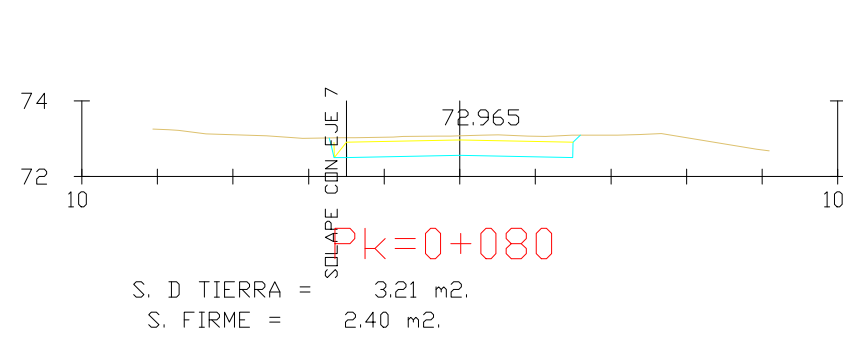
Pk=0+060

S. D TIERRA = 2.93 m2.  
S. FIRME = 2.40 m2.

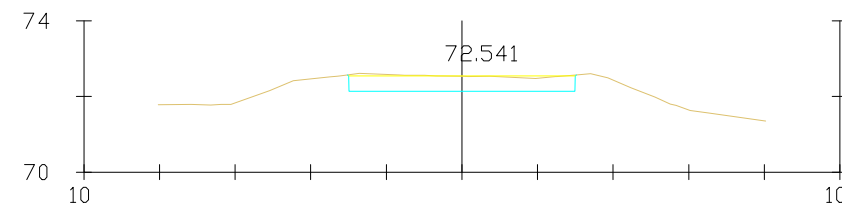


Pk=0+070

S. D TIERRA = 3.06 m2.  
S. FIRME = 2.40 m2.

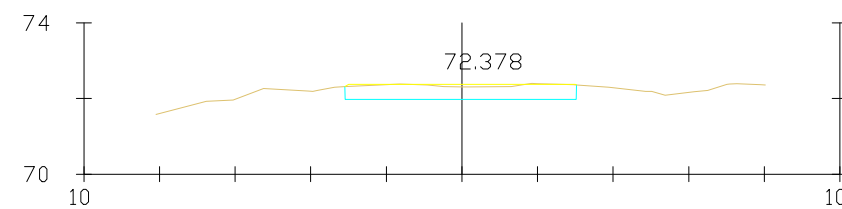






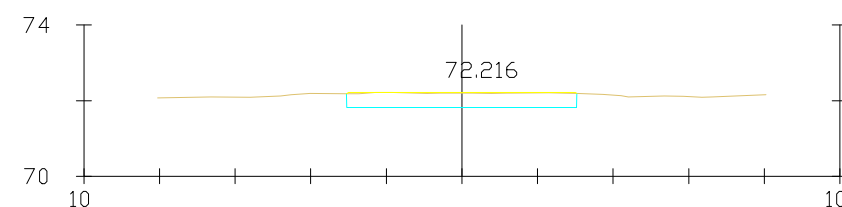
Pk=0+000

S. D TIERRA = 2.42 m2.  
S. FIRME = 2.40 m2.



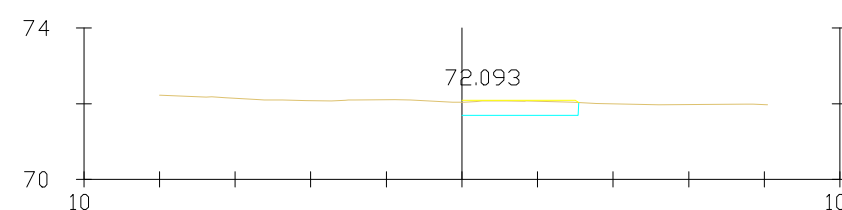
Pk=0+010

S. D TIERRA = 2.25 m2.  
S. FIRME = 2.44 m2.



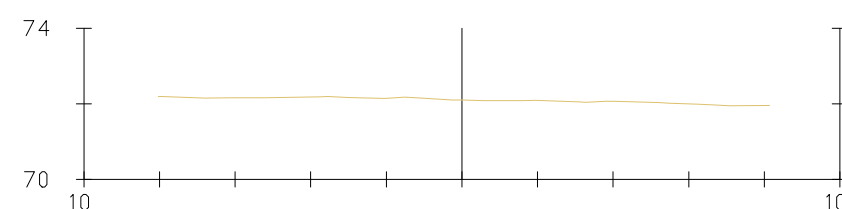
Pk=0+020

S. D TIERRA = 2.34 m2.  
S. FIRME = 2.43 m2.

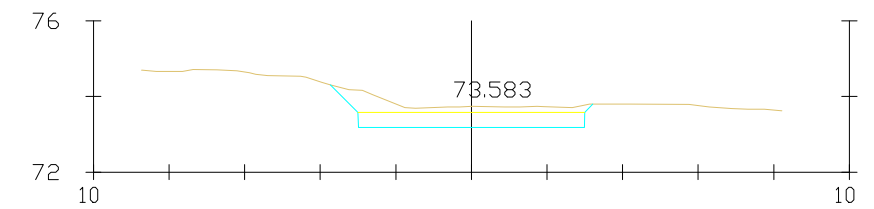


Pk=0+030

S. D TIERRA = 1.13 m2.  
S. FIRME = 1.23 m2.

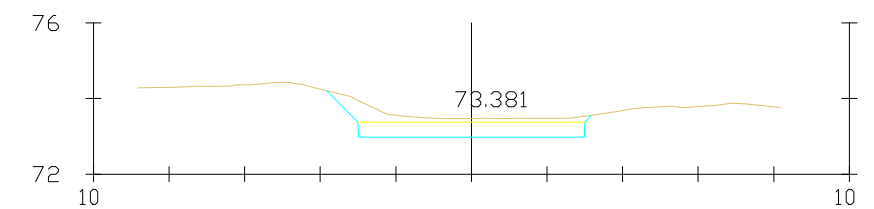


Pk=0+034.290



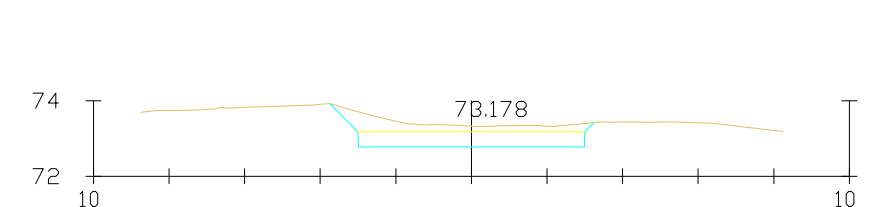
Pk=0+000

S. D TIERRA = 3.73 m2.  
S. FIRME = 2.40 m2.



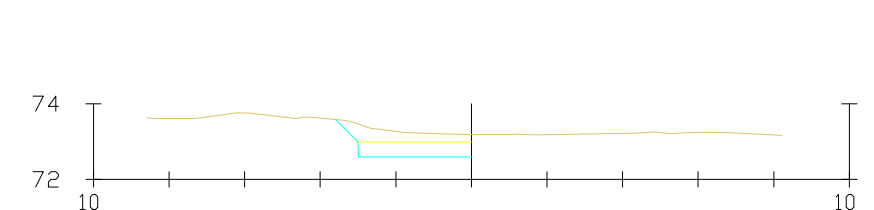
Pk=0+010

S. D TIERRA = 3.53 m2.  
S. FIRME = 2.40 m2.



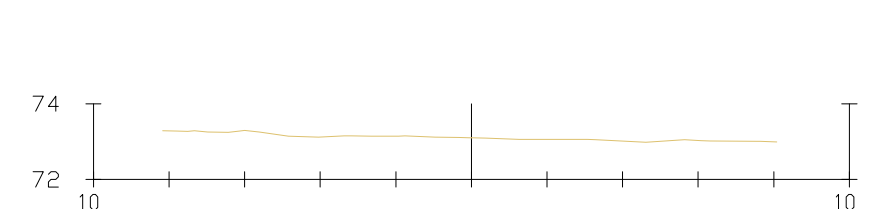
Pk=0+020

S. D TIERRA = 3.87 m2.  
S. FIRME = 2.40 m2.



Pk=0+030

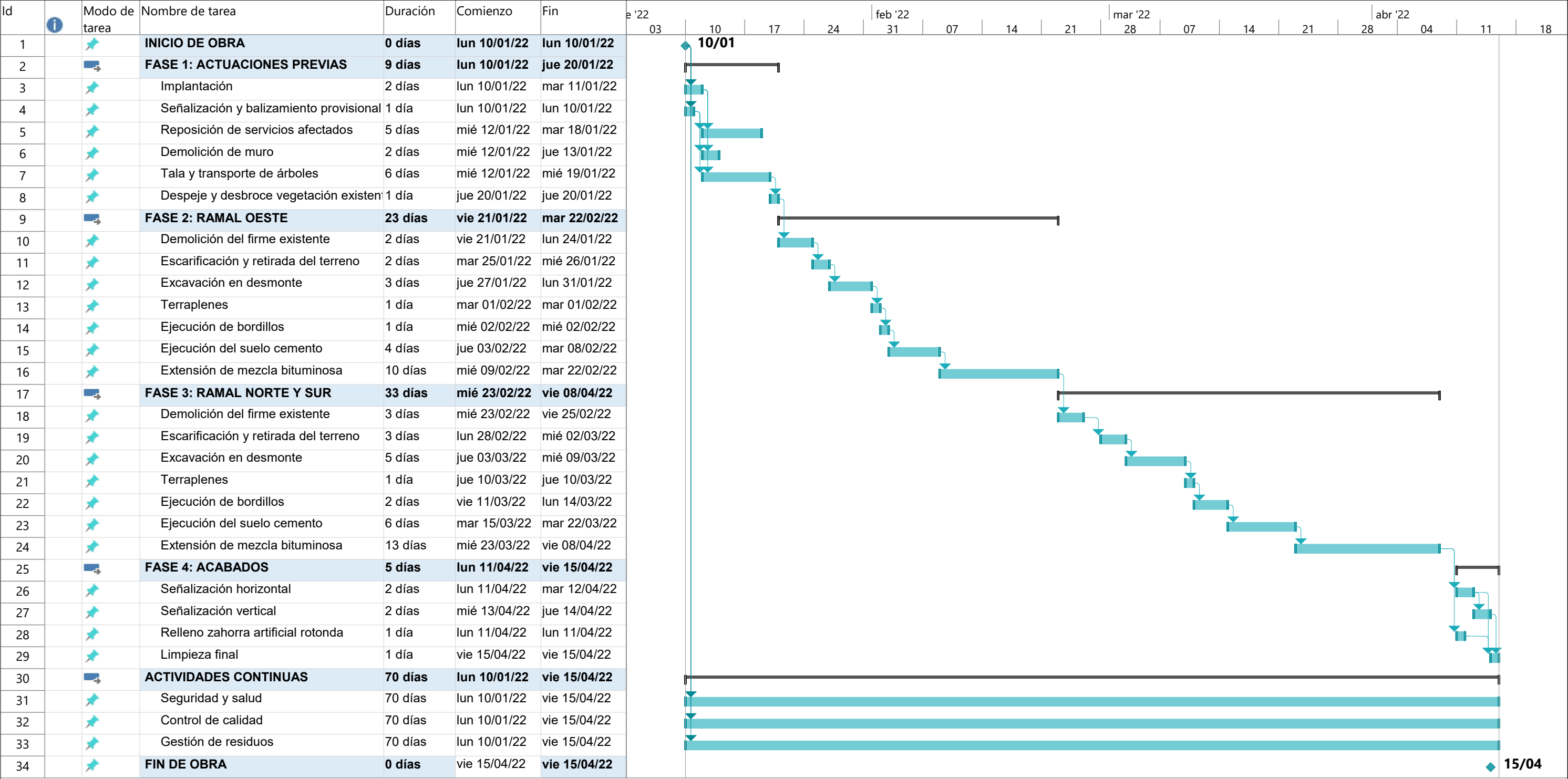
S. D TIERRA = 2.15 m2.  
S. FIRME = 1.20 m2.



Pk=0+034.526



## Anexo 4: Planificación





## Anexo 5: Presupuesto

# PRESUPUESTO Y MEDICIONES

GLORIETA

CÓDIGO	RESUMEN	UDS	LONGITUD	ANCHURA	ALTURA	CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE
<b>01</b>	<b>ACTUACIONES PREVIAS</b>							
01.01	m³ DEMOLICIÓN DE MURO EXISTENTE Demolición de cualquier tipo de cerramiento incluido descombro, carga y transporte de material demolido a gestor autorizado hasta una distancia de 60 km.							
			170,00	0,20	2,00	68,00		
						68,00	7,48	508,64
01.02	u TALA Y TRANSPORTE DE ÁRBOLES Tala y transporte de árbol de gran porte incluido eliminación del tocón restante, carga y transporte de material a vertedero o gestor autorizado hasta una distancia de 60 km.							
		360				360,00		
						360,00	47,28	17.020,80
01.03	m² DESPEJE Y DESBROCE DE VEGETACIÓN EXISTENTE Despeje y desbroce del terreno por medios mecánicos incluido des- toconado, arranque, carga y transporte a vertedero o gestor autori- zado hasta una distancia de 60 km.							
		2.000				2.000,00		
						2.000,00	0,58	1.160,00
<b>TOTAL 01 .....</b>								<b>18.689,44</b>



# PRESUPUESTO Y MEDICIONES

GLORIETA

CÓDIGO	RESUMEN	UDS	LONGITUD	ANCHURA	ALTURA	CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE
<b>02</b>	<b>MOVIMIENTO DE TIERRAS</b>							
02.01	m <sup>2</sup> DEMOLICIÓN DE FIRME EXISTENTE Demolición de firme o pavimento existente de cualquier tipo o espesor incluido bajas por rendimiento por paso de vehículos, demolición de aceras, isletas, borsillos y toda clase de piezas especiales de pavimentación, descombro, carga y transporte de material demolido a gestor autorizado hasta una distancia de 60 km.							
		1.500				1.500,00		
		3.000				3.000,00		
						4.500,00	3,85	17.325,00
02.02	m <sup>2</sup> ESCARIFICACIÓN Y RETIRADA DEL TERRENO Escarificación y retirada del terreno de explanada por medios mecánicos incluido detoconado, arranque, carga y transporte a vertedero o gestor autorizado hasta una distancia de 60 km.							
		1.500				1.500,00		
		3.000				3.000,00		
						4.500,00	1,16	5.220,00
02.03	m <sup>3</sup> EXCAVACIÓN EN DESMONTE Excavación en desmonte en tierra con medios mecánicos (tipo excavadora o similar) sin explosivos incluido agotamiento y drenaje durante la ejecución, saneo de desprendimientos, formación, y perfilado de cunetas, refino de taludes, carga y transporte a vertedero hasta una distancia de 10 km o al lugar de utilización dentro de la obra sea cual sea la distancia							
		929,45				929,45		
		1.459,05				1.459,05		
						2.388,50	1,95	4.657,58
02.04	m <sup>3</sup> TERRAPLENES Terraplén, pedraplén o relleno todo-uno con materiales procedente de la excavación, incluido extendido, humectación, nivelación, compactación, terminación y refino de taludes totalmente terminado							
		142,7				142,70		
		113,5				113,50		
						256,20	1,09	279,26
<b>TOTAL 02.....</b>								<b>27.481,84</b>

# PRESUPUESTO Y MEDICIONES

GLORIETA

CÓDIGO	RESUMEN	UDS	LONGITUD	ANCHURA	ALTURA	CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE
<b>03</b>	<b>FIRMES</b>							
03.01	m BORDILLO PREFABRICADO A1 Bordillo prefabricado A1 de homrigón HM-40 achaflanado, de 14x20 cm. De sección, asentado sobre base de hormigón HM-20, incluso parte proporcional de rejuntado con mortero (1:1). Contruido según NTE/RSP-17. Medida la longitud ejecutada.		118,00 227,00			118,00 227,00		
						345,00	21,45	7.400,25
03.02	m BORDILLO PREFABRICADO C9 Bordillo prefabricado C9 de homrigón HM-40 achaflanado, de 25x13 cm. De sección, asentado sobre base de hormigón HM-20, incluso parte proporcional de rejuntado con mortero (1:1). Contruido según NTE/RSP-17. Medida la longitud ejecutada.		30,00 30,00			30,00 30,00		
						60,00	22,62	1.357,20
03.03	m³ SUELOCEMENTO Suelocemneto fabricado en central incluido transporte, extendido compactación, prefisuración y preparación de la superficie de asiento.		455,5 634,1			455,50 634,10		
						1.089,60	23,81	25.943,38
03.04	t MEZCLA BITUMINOSA TIPO AC32 BIN S Mezcla bituminosa en caliente tipo AC32 bin B50/70 S con una dotación de 2,45 tn/m3 (S-25 intermedia), extendida y compactada, incluida parte proporcional de betún y polvo mineral de aportación.		516,67 717,92			516,67 717,92		
						1.234,59	26,46	32.667,25
03.05	t MEZCLA BITUMINOSA TIPO AC22 SURF S Mezcla bituminosa en caliente tipo AC22 surf B50/70 S con una dotación de 2,50 tn/m3 (S-25 intermedia), extendida y compactada, incluida parte proporcional de betún y polvo mineral de aportación.		413,33 574,33			413,33 574,33		
						987,66	26,13	25.807,56
03.06	m³ RELLENO DE ZAHORRA ARTIFICIAL Zahorra artificial incluido transporte, extensión y compactación, medido sobre perfil teórico		132,95 172,95			132,95 172,95		
						305,90	18,19	5.564,32
<b>TOTAL 03.....</b>								<b>98.739,96</b>

# PRESUPUESTO Y MEDICIONES

GLORIETA

CÓDIGO	RESUMEN	UDS	LONGITUD	ANCHURA	ALTURA	CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE
<b>04</b>	<b>SEÑALIZACIÓN</b>							
04.01	u SEÑAL TRIANGULAR DE 135 CM Señal triangular de 135 de lado, retrorreflectante de clase RA2, colocada sobre poste galvanizado, fijado a tierra mediante hormigonado incluido tornillería y elementos de fijación y transporte al lugar de empleo.	3				3,00		
						3,00	164,84	494,52
04.02	u SEÑAL CIRCULAR DE 90 CM Señal circular de 135 de diámetro, retrorreflectante de clase RA2, colocada sobre poste galvanizado, fijado a tierra mediante hormigonado incluido tornillería y elementos de fijación y transporte al lugar de empleo.	12				12,00		
						12,00	162,54	1.950,48
04.03	u CARTEL TIPO FLECHA Cartel tipo flecha en chapa de acero galvanizado, retrorreflectante de clase RA2, incluido tornillería, elementos de fijación, postes y cimentación y transporte al lugar de empleo	3				3,00		
						3,00	232,73	698,19
04.04	m² MARCA VIAL PARA SÍMBOLOS Y CEBREADOS Marca vial de pintura reflectante, tipo acrílica en base agua autorreticulable, en símbolos y cebreados.	42				42,00		
						42,00	5,17	217,14
04.05	m MARCA VIAL Marca vial de Tipo II (RR), de pintura reflectante, tipo acrílica en base agua autorreticulable, de 10 cm de ancho incluido preparación de superficie y premarcaje. Medida la longitud realmente marcada.	1.470,00				1.470,00		
						1.470,00	0,65	955,50
<b>TOTAL 04.....</b>								<b>4.315,83</b>
<b>TOTAL.....</b>								<b>149.227,07</b>

RESUMEN DE PRESUPUESTO

GLORIETA

CAPÍTULO	RESUMEN	IMPORTE	%
01	ACTUACIONES PREVIAS.....	18.689,44	12,52
02	MOVIMIENTO DE TIERRAS.....	27.481,84	18,42
03	FIRMES .....	98.739,96	66,17
04	SEÑALIZACIÓN .....	4.315,83	2,89
PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL		149.227,07	

Asciende el presupuesto a la expresada cantidad de CIENTO CUARENTA Y NUEVE MIL DOSCIENTOS VEINTISIETE con SIETE CÉNTIMOS

## **Anexo 6: Objetivos de Desarrollo Sostenible**



En 2015, la Organización de las Naciones Unidas aprobó la Agenda 2030 sobre el Desarrollo Sostenible, una oportunidad para que los países y sus sociedades emprendan un nuevo camino con el que mejorar la vida de todos. La Agenda define un total de 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de aplicación universal para impulsar el crecimiento económico, el compromiso con las necesidades sociales y la protección del medio ambiente.



*Figura 79 - Objetivos de desarrollo sostenible*

*Fuente: [isglobal.org/-/sdgs-and-global-health](https://isglobal.org/-/sdgs-and-global-health)*

Los 17 objetivos definidos por la Agenda de Desarrollo Sostenible 2030 son:

**ODS 1. Fin de la pobreza.** Poner fin a la pobreza en todas sus formas en todo el mundo.

**ODS 2. Hambre cero.** Poner fin al hambre, lograr la seguridad alimentaria y la mejora de la nutrición y promover la agricultura sostenible.

**ODS 3. Salud y bienestar.** Garantizar una vida sana y promover el bienestar para todos en todas las edades.

**ODS 4. Educación de calidad.** Garantizar una educación inclusiva, equitativa y de calidad y promover oportunidades de aprendizaje durante toda la vida para todos.

**ODS 5. Igualdad de género.** Lograr la igualdad entre los géneros y empoderar a todas las mujeres y las niñas.

**ODS 6. Agua limpia y saneamiento.** Garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos.

**ODS 7. Energía asequible y no contaminante.** Garantizar el acceso a una energía asequible, segura, sostenible y moderna para todos.

**ODS 8. Trabajo decente y crecimiento económico.** Promover el crecimiento económico sostenido, inclusivo y sostenible, el empleo pleno y productivo y el trabajo decente para todos.

**ODS 9. Industria, innovación e infraestructuras.** Construir infraestructuras resilientes, promover la industrialización sostenible y fomentar la innovación.

**ODS 10. Reducción de las desigualdades.** Reducir la desigualdad en y entre los países.

**ODS 11. Ciudades y comunidades sostenibles.** Lograr que las ciudades y los asentamientos humanos sean inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles.

**ODS 12. Producción y consumo responsables.** Garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles.

**ODS 13. Acción por el clima.** Adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos.

**ODS 14. Vida submarina.** Conservar y utilizar en forma sostenible los océanos, los mares y los recursos marinos para el desarrollo sostenible.

**ODS 15. Vida de ecosistemas terrestres.** Gestionar sosteniblemente los bosques, luchar contra la desertificación, detener e invertir la degradación de las tierras y detener la pérdida de biodiversidad.

**ODS 16. Paz, justicia e instituciones sólidas.** Promover sociedades, justas, pacíficas e inclusivas.

**ODS 17. Alianzas para lograr objetivos.** Revitalizar la Alianza Mundial para el Desarrollo Sostenible.

Relación del TFM “Aplicación de la metodología Building Information Modeling (BIM) para el rediseño de la intersección localizada en el PK 3+477 de la carretera TF-652 en la provincia de Santa Cruz de Tenerife” con los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la Agenda 2030.

Grado de relación del trabajo con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).

OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLES	Alto	Medio	Bajo	No Procede
ODS 1. Fin de la pobreza.				X
ODS 2. Hambre cero.				X
ODS 3. Salud y bienestar.	X			
ODS 4. Educación de calidad.				X
ODS 5. Igualdad de género.				X
ODS 6. Agua limpia y saneamiento.				X
ODS 7. Energía asequible y no contaminante.				X
ODS 8. Trabajo decente y crecimiento económico.			X	
ODS 9. Industria, innovación e infraestructuras.	X			
ODS 10. Reducción de las desigualdades.				X
ODS 11. Ciudades y comunidades sostenibles.			X	
ODS 12. Producción y consumo responsables.				X
ODS 13. Acción por el clima.			X	
ODS 14. Vida submarina.				X
ODS 15. Vida de ecosistemas terrestres.				X
ODS 16. Paz, justicia e instituciones sólidas.				X
ODS 17. Alianzas para lograr objetivos.				X

Tabla 29 - Relación del trabajo con los ODS

Fuente: Elaboración propia

Descripción de la alineación del TFM con los ODS con un grado de relación más alto.

### ODS 3. Salud y bienestar

- Debido a la reducción de las demoras en la intersección, el tiempo perdido por los conductores se disminuye proporcionando mayor bienestar social a los diferentes usuarios.
- Con el rediseño de la intersección es previsible una mejora en la accidentalidad lo que conlleva un aumento de la salud y el bienestar.

### ODS 8. Trabajo decente y crecimiento económico

- El ahorro de tiempo que anualmente supondría el rediseño de la intersección proporciona una reducción de costes que proporciona unos crecimientos económicos y mejora el estándar de vida.

### ODS 9. Industria, innovación e infraestructuras

- El rediseño de la intersección y las mejoras que se consiguen hacen que la infraestructura que se plantea consiga adaptarse a las situaciones adversas que se dan con resultados que son claramente positivos.

### ODS 11. Ciudades y comunidades sostenibles

- Con el estudio de tráfico realizado y el rediseño se pretende la mejora de la funcionalidad y capacidad de la intersección que en la actualidad se encuentra sobrecargada y se espera un crecimiento que agrave claramente la situación.
- Con las mejoras planteadas se reduce el tiempo de estancia de los vehículos en la intersección, lo que conlleva consigo la reducción de la contaminación del aire.

### ODS 13. Acción por el clima

- Con motivo de la disminución del tiempo perdido por los semáforos se reducen los gases de efecto invernadero que son emitidos hacia a la atmosfera.



**A/A: Comisión Académica del Master Universitario en Planificación y Gestión en Ingeniería Civil**

Valencia, a 4 de septiembre de 2021.

Estimados Sres.:

Por la presente les informo, en mi calidad de tutor, mi CONFORMIDAD con la presentación del Trabajo de Fin de Master titulado: *Aplicación de la metodología Building Information Modeling (BIM) para el rediseño de la intersección localizada en el PK 3+477 de la carretera TF-652 en la provincia de Santa Cruz de Tenerife*, realizado por el alumno *Joel Santos Casanova* como culminación de sus estudios del Master Universitario en Planificación y Gestión en Ingeniería Civil.

Atentamente,

Firmado: Dr. Francisco Javier Camacho Torregrosa

